

高潮発生装置の試作とその予備実験

室田 明*・村岡 浩爾**・岡田 耕***

1. まえがき

わが国における高潮理論の発展は周知のとおり、昭和9年の第一室戸台風を契機としてはなばなく開花し、以来たび重なる高潮災害の際の貴重な観測記録によって理論の検照と精密化が推進され、これら先人の輝かしい業績は広く世界に誇りうるものである。しかし、系統的研究がその緒についてなお日浅く高潮に関する確実な記録はいまだはなばだ僅少であり、さらに加えて、やむをえぬとはいいながら外洋での高潮発生機構についてのわれわれの知識はまったく憶測の域を出ていない。台風高潮にくらべればはるかに観測が容易であろうと思われる洪水についてさえ、その理論を的確にチェックしうる精度のよい実測記録のない現状では真にやむをえぬというもののなんらかの実証面でのアプローチがないものだろうか。

沿岸近くの高潮は海岸線形状、水深変化などの地形効果の影響を受けて、すなわち境界条件の多様性に正しく対応してかなり局所的な変形を受ける。ごく近接した地点での潮位記録がいちじるしく異なるのは災害調査のたびにしばしば経験するところであるが、その意味で沿岸での潮位記録からただちに外海での高潮挙動を推測することはできない。現存するわずかな高潮資料からさえ高潮発生とその生長過程を推測しえない所謂である。

ところで一般には外洋での高潮生成の主因は台風による気圧低下であり、その運動を支配する要因は Coriolis の力であるといわれている。moving point impulse の理論がその立場を代表し、圧力変化範囲を有限な場合に拡張してもその本質は変わらない。しかし open sea においてもそのモデルはあまりに単純化されすぎているようである。台風域内での風の不連続面、台風の成長・減衰による気圧変動あるいは spiral に吹き込む風の wind-draft などによって生ずる長波、さらに群波の型で放出される高潮エネルギーの逸散など、一概に minor subject として無視しえない多数の問題をふくんでいる。

さらに沿岸に近づいた高潮について防災工学上でとくに問題となるのは、高潮の共振現象の存否の議論である。

すなわち moving impulse の理論によれば台風中心の移動速度と長波伝播速度が等しければ共振して高潮波高は（海底摩擦を無視した場合には）無限大になるという。ところがほぼこの条件を満足する第二室戸台風ほどの記録を検討しても必ずしも共振状態が現われたとは認められず、この点についてはかなり否定的な見解が多いようである。これはおそらく湾の規模にくらべて台風の平面的拡がりの規模が十分大きく少なくとも考える閉塞海域に関しては、その気象擾乱を moving impulse とは認めがたいことに起因するものであろう。もしそうなら十分に広い open sea では共振現象、あるいはそれに近い高潮の built-up が期待できるだろうか。

以上のような諸問題、すなわち高潮の発生機構と、強制振動としての高潮挙動について実験的なアプローチを試みるのがわれわれの、かねてからの念願であった（もちろん、くり返してのべたように台風高潮の実態がまだほとんど把握されていない現状で、こういった実験に踏み切るのは根本的にも model そのものの妥当性についてきわめて多くの疑念を残すであろうことを当初から覚悟して）。

幸いにして大阪大学、安宅 勝教授を代表者とする機関研究「西大阪における高潮災害の拡大防止に関する研究」に対し昭和38年度文部省科学研究費の交付があって研究分担者各位の理解と援助のもとにわれわれの念願であった高潮発生装置の試作に着手することができた。

この装置は本年3月完工し、以来各種の調整と試運転をくり返し、最近ようやく本格的な実験段階に入ったようないで、前述のわれわれの実験項目についての研究成果をここに報告できないのは真に遺憾であるが、装置の製作設置の意図と、その機構の詳細、および本装置で再現しうべき気圧降下、風などの気象要素に関する予備的実験の成果を報告し、各位のご批判とご教示を頂き、それによって本装置を逐次改良し整備しつつ本格的な実験過程に入っていければわれわれの幸甚とするところである。

なお、本装置の試作は前記文部省科学研究費によるものであり、研究費の使途について暖かい理解を頂いた安宅教授を初め研究分担者の各位、および装置、水路の上屋建設について援助をおしまれなかった大阪大学事務局などの関係方面にこの際深甚の謝意を表するものである。

* 正会員 工博 大阪大学教授 構築工学教室

** 正会員 工修 大阪大学助手 構築工学教室

*** 学生会員 大阪大学大学院学生

2. 高潮発生装置の概略とその性能

高潮の形成に係る気象要因は、気圧降下、風の spiral flow、台風中心の移行の3つである。高潮発生装置は可及的台風類似の気象攪乱を再現すべく、つぎのような機構からなる。すなわち大型軸流送風機によってその suction 側で水面付近の気圧を低下せしめ、同時に周辺からの空気を吸い込ませて風を生ぜしめる。さらにターボファンによる空気の吹き出しをきかせ、風が中心に対して spiral に吸い込まれるようにする。これらの装置を台車に取り付け、水路を運行させることにより台風の移行を再現するものとする。

装置の規模の決定については、台風モデルとしては第一、第二室戸クラスの台風を想定し、水域としては外海はもちろん、湾としては大阪湾（平均水深 $H \approx 30$ m、長径 60 km、短径 30 km のだ円形湾と仮定）を想定しその諸元を決定する。台風規模はその内域に注目し内域半径はおおよそ 50 km とし、最大気圧低下量は 70~80 mb、最大風速は気圧低下に対応して 50 m/sec の order、中心移動速度は共振現象の観察を予期して最大速度として $c = \sqrt{gH} = \sqrt{9.8 \times 30}$ より 60 km/h の order、そして最大水位上昇量は 2~3 m とする。

相似則は高潮挙動を長波的であると考へ、Froude 則にしたがうものとする。このような波動問題で模型をひ

図-1 上屋側面図

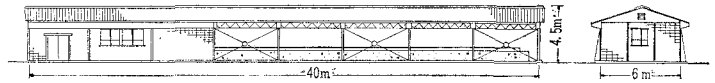


図-2 水路平面図

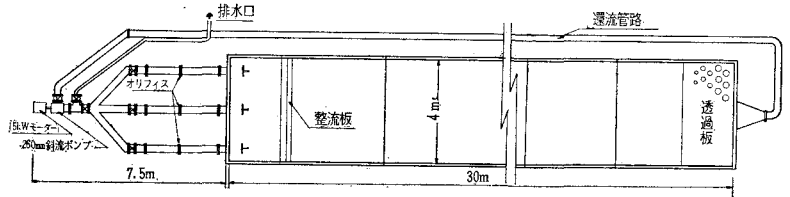
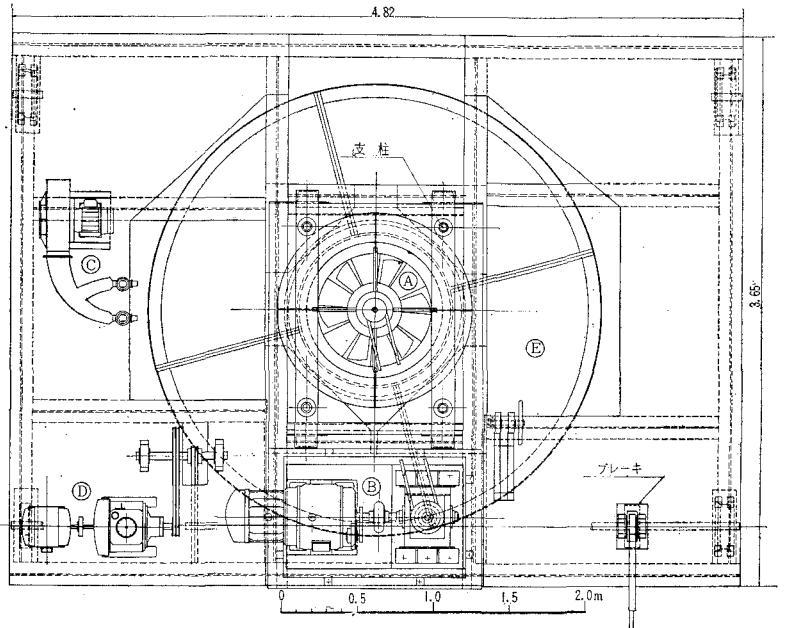


図-3 高潮発生装置平面図



ずませるのは疑問であるが、観測の便、模型の規模を考慮してつぎのようなひずんだものとする。

水平縮尺：1/20 000 垂直縮尺：1/100

これによって換算された模型の諸元、および模型の性能は以上の根拠によって表-1 に示すようである。

3. 装置の機構と各種計測器

水路の両側に沿って敷設したレール上に装置を載せた台車が運行する。この水槽には図-2 に示すように 15 KW の斜流ポンプによる還流装置が具備されていて、必要に応じ流れをさかのぼる高潮を観察することができる。

装置の概略を図-3、4、5 に示す。図中、④が吸い込みのための軸流送風機で、11 KW のモーターおよび無段変速機により最高 2 000 rpm まで回転しうる。この送風機は下部の観測板と一体であり台車上のハンドル操作

表-1

諸元	第一、第二室戸台風級における諸元 (大阪湾)	模型への換算諸元	模型の諸元性能
湾の平面規模	長径約 60 km 短径約 30 km	3 m 1.5 m	(水路長) 30 m (水路幅) 4 m
湾の平均水深	約 30 m	30 cm	最大 40 cm
台風内域半径	約 50 km	2.5 m	(観測板半径) 1.5 m
最大気圧低下量	約 80 mb		2.5 mb (観測値)
最大風速	約 50 m/sec		18 m/sec (観測値)
最大水位上昇量	2~3 m	2~3 cm	2.5 cm (観測値)
最大中心移動速度	約 60 km/h		2 m/sec (有効移行距離: 26 m)

図-4 高潮発生装置側面図

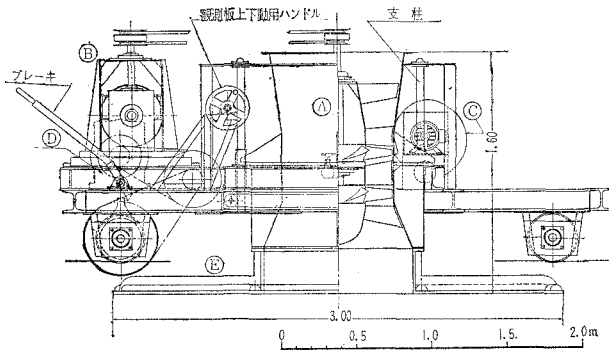
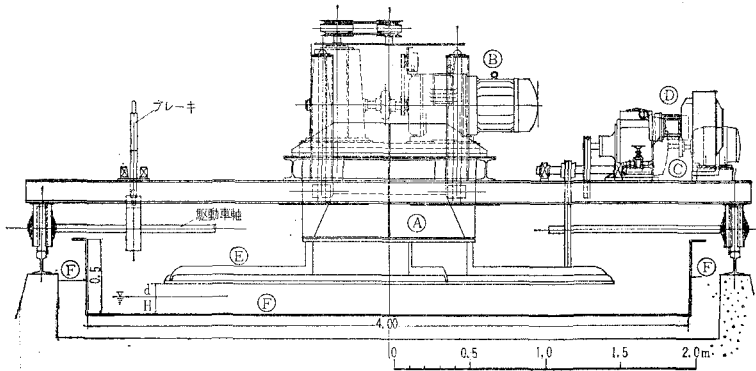


図-5 高潮発生装置正面図

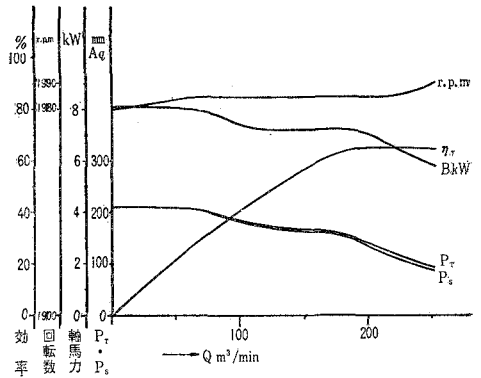


により 40 cm の range で上下し得る。これにより観測板 (図中 ⑥) と水面との間隔 ($=d$) を自由に变化させ、ある水深 ($=H$) に対しこの d とファンの回転数 ($=n$) を適当に変えて所要の気圧低下と風速を生ぜしめて実験を行なう。一方、2KW のターボファン (図中 ③) によって観測板の外周、内周に設けたダクトから接線方向に毎分 10 m^3 の風量を吹き出させ、吸い込み流と合成させて観測板下に spiral flow を生ぜしめる。台車は 3.4 KW のモーターと無段変速機により最高 2 m/sec の速度で水路上を前後進しうる。

図-6 に軸流送風機の性能曲線を示す。

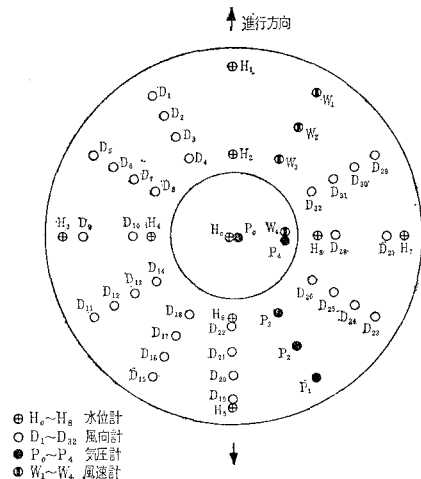
気象要素と水面形計測のための計測器は観測板に取り付けられ、その配置を図-7 に示す。この観測板は透明アクリライト製であって実験中の水面挙動の目視観測にも便利である。計測器は、風向計、風速計、気圧計、水位計の 4 種とする。風向計は、移動する台風の圏内では場所により風向が相違することから、できるだけ多く設置することが望ましく、図のように観測板上に分散させて 32 カ所に設けている。その構造は通常の示向羽根上の浮動示向針を電磁石の作用で持ち上げて、ある瞬間の風向を一斉に固定しうるものである。風速および気圧も移動する台風においては中心に対し非対称分布であるが、静止時の観測値と移動速度からベクトル加算しうる

図-6 軸流送風機の諸機能



ので中心に対し一方のみの観測でよく、図示のように設置されている。構造はピトー管形式で、傾斜マノメーターで測圧する。水位計は進行方向をふくむ前後左右の 4 方向に 8 点設置し、構造は抵抗線式である。以上の計器は風向計を除き、観測板上からの測点の鉛直方向の調節が可能である。中心部の気圧計 (P_0)、水位計 (H_0) は遠隔操作が可能である。

図-7 観測板上の計測器配置



4. 気象要素決定のための予備実験

台風の円内に相当する観測板下の気象状態は、ファンの回転数 n 、観測板、水面間の距離 d 、そして台車の進行速度に関係すると考えられるが、装置の機能を調べるための予備実験として台車の静止状態、およびターボファンによる吹き出しのない純収束風について行なった

実験結果についてのべる。図-8 は $d=12.4\text{ cm}$ のときの風速および気圧の観測値を示す。これらの分布は n の値によって一様の傾向を示し、風速は中心に向かって増加するが、気圧は中心付近でむしろ値は小さくなっている。これは観測板内縁までは気圧低下は順調であろうと予想されるが、それから中心までの範囲では気流が鉛直

図-8 気象要素の実測例

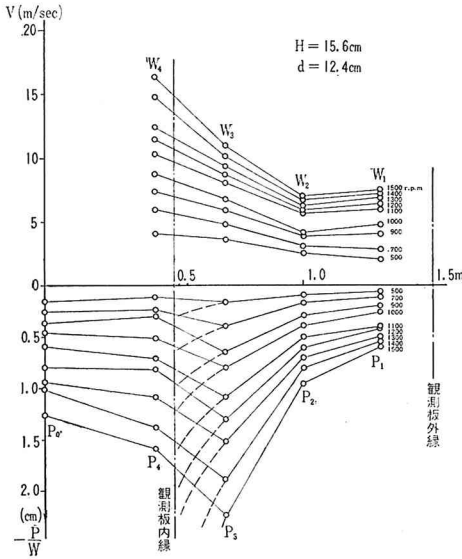


図-9 送風機回転数と気圧低下量および風速との関係

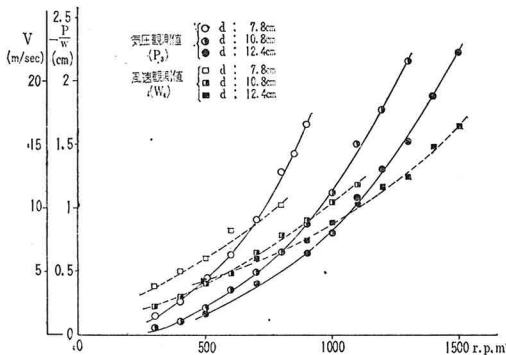


図-10 鉛直方向の圧力 (P_s) と風速 (W_s) 分布の一例

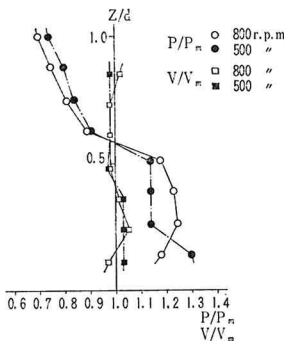
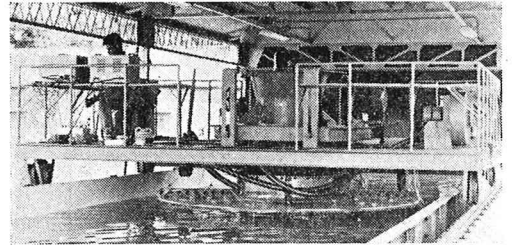


写真-1 高潮発生装置



方向に吸い上げられたり、ファンの軸受などがあつたりしてなめらかな気流になっていないためだろうと考えられる。図-9 には一例として観測点 P_3 , W_4 の気圧および風速分布と d の関係を示している。 d を小さくすれば一般に低圧、高風速の状態が得られるが、極端に小さくすることは水滴を吸い上げてしまうので好ましくない。

図-10 は P_3 , W_3 の観測点で調べた水面上鉛直方向の気圧と風速の分布を示したものである。この装置では気圧の鉛直方向の傾度は風速のそれよりも大きいようである。

台風内域での気圧と風の吹寄せの各効果を比較することは興味深いことであるが、この装置についての概略の見積りをすればつぎのようである。すなわち、二者の効果を

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial p}{\partial x} \sim \frac{dp}{dx} \\ \frac{\tau_s}{H} = \frac{\rho a r^2 V^2}{H} \end{array} \right., \quad r^2 = 1.3 \times 10^{-3} \text{ (日野の理論による)}$$

として実測値を用いて概算すれば、ファンの回転数の大小にかかわらず、およそ 200 : 1 の比で気圧の効果が卓越しているようである。将来の本実験にはこの点に注目して適切な操作および装置の改良が必要であろう。

5. 装置停止時の気象擾乱による水面変化の実験

観測板下の中心を通る直線上の5基の水位計(H_1 , H_2 , H_0 , H_6 , H_5)によって水面形を観測した結果の一例を図-11 に示す。実験時の水面状態は実際には風の吹寄せ

図-11 水面上昇量の実測例

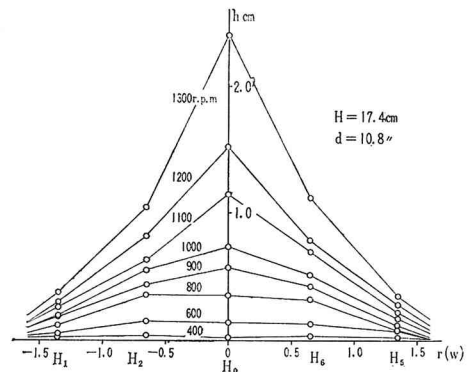


図-12 擾乱波波形の一例

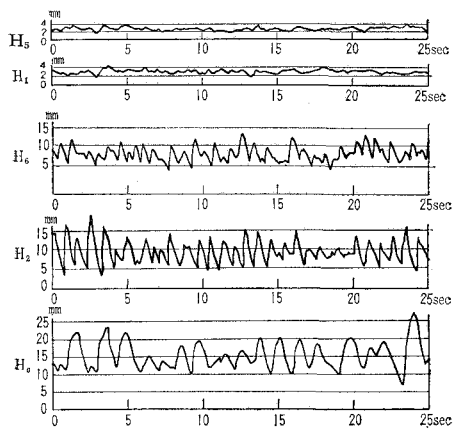


図-13 (a) 気圧低下量と水面上昇量との関係

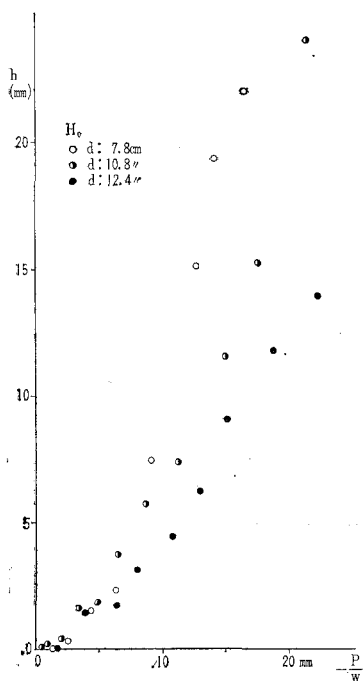


図-13 (b) 気圧低下量と水面上昇量との関係

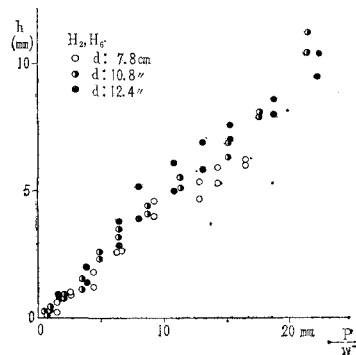
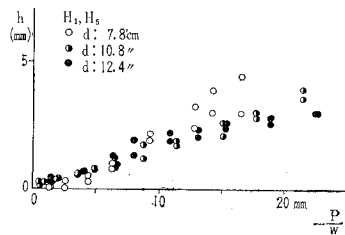


図-13 (c) 気圧低下量と水面上昇量との関係



にともなう激しい capillary wave の発生で、図-12 にその一例を示すように非常に乱れたものである。図-11 に示した水面形は、記録紙の波形から得た平均水位上昇量について描かれている。図からわかるように、平均水面形はファンの回転数が大きくなるにつれ、はなはだ安定した hump を示す。回転数の小さい場合の水面形状が大きい場合のそれとやや異なるのは、この水面上昇が気圧低下および風速の大きさの相互作用によるためのほかに、この装置の形状や操作手段 (n や d を変えること) が気圧および風速の分布におよぼしている影響のためであろうと考えられる。図-13 (a), (b), (c) は d の異なる値について、各測点の水位上昇量をそのときの気圧低下量について整理したものであるが、中心部 (H_0) ではやや明瞭な傾向を示しているのに反し、周辺、特に内縁部では d の影響が不明瞭で、この付近では気象擾乱による水位変化の挙動は複雑であることが予想される。