

高知港の津波に関する模型実験

岩垣 雄一・土屋 義人・中村 重久

TSUNAMI MODEL EXPERIMENT OF KOCHI HARBOUR

By Yuichi IWAGAKI, Yoshito TSUCHIYA and Shigehisa NAKAMURA

Synopsis

Tsunami disaster and its prevention as a problem of coastal engineering have recently become important. In this paper, tsunamis in Kochi Harbour are studied experimentally by the use of a hydraulic model with a tsunami generator of plunger type controlled by a hydraulic servo system.

After it is proved that the Chilean Tsunami can be successfully reproduced in the model basin, behaviours of a design tsunami and regular waves with various periods in Kochi Harbour are studied for the present topography and for the case after dredging and reclamation. The effect of tsunami breakwaters constructed at the entrance of the harbour is also studied from the view point of the behaviours of tsunami in the harbour.

1. 緒 言

津波による災害の防止対策は、わが国において近年とくに重要視されるようになってきた。とくに、日本列島は環太平洋地震帯のうえに位置しているので、海底地震による津波災害の記録は枚挙のいとまがないほどである¹⁾。このような津波による海岸災害は数多くの問題を含んでいるので、理工学的見地から種々検討されなくてはならない。

わが国の太平洋岸に位置する高知港も過去において甚大な津波災害を蒙った。最近の30年をみても南海地震(1946)やチリ地震(1960)によるものをはじめとして、大小各種の規模の津波が来襲している。このような津波は一定のマグニチュード以上の海底地震によってひきおこされる例が多いが¹⁾、高知港の場合、災害を与えるような津波が約100年の間隔をおいて発生している。高知港の港湾計画がすすめられた後においても津波災害をできるだけ軽減し、できうるならばこのような災害をなくするための対策を検討するためには、津波の挙動を十分明らかにしておかななくてはならない。このような見地にたつて、津波の研究をすすめる方法はいろいろと考えられるが、ここでは模型実験による方法によって得られた高知港の津波の挙動について述べる。

はじめに高知港の模型について力学的相似律を考慮した場合、チリ津波が再現できるかどうかを検討し、つぎに現況の地形の模型について各種の周期をもつ規則波ならびに計画津波の挙動を実験的に研究した。さらに、高知港の航路を浚渫した場合についても実験的に検討を加える。

2. 造 波 装 置

津波を研究の対象とした模型実験の例をみると、1961年の岩崎および三浦²⁾による気仙沼湾に関するものが最初と考えられる。これはフラッター式造波装置を用いて、主として津波の第1波に着目して研究されている。わが国では、とくに東北大学において津波の実験的研究が推進され、電気油圧系自動制御による造波

装置が開発されてきた⁹⁾。樋口⁴⁾は瀬戸内海における津波の模型実験を試みた。また、同様な目的に対して、著者のひとり中村⁵⁾は水圧式造波装置を試作し、その特性を検討した。

ソ連においては、1962年に Grigorash⁶⁾、1968年に Klivoshei⁷⁾ によって模型実験が行なわれているが、陸棚部の津波の伝播に重点がおかれている。これに対して、米国における津波の実験的研究は工学的な見地から行なわれているようである。1963年には Wong, Ippen および Harleman⁸⁾ によって、島あるいは海峯付近の津波の特性が検討されており、実験にはピストン式造波機を用いている。模型実験としては、1965年 Palmer および Funasaki⁹⁾ によって Hilo 港の実験が気圧式造波装置によって行なわれた。

従来、津波の実験的研究においては、津波の最高波を規則波で近似させて行なう例が多かった。ここでは、津波実験用造波装置として電気油圧カム制御系を用いたプランジャー式造波装置を用いることにした¹⁰⁾。

このプランジャー式造波装置は **Photo 1** のようなもので、**Photo 2** の油圧制御器によって駆動される。この駆動は **Fig. 1** のようなブロック線図で与えられるサーボ系によって行なわれ、入力信号の発生に対してはアクリライト製のカムを用いる。この制御系によってプランジャーの変位と位相を規定することができる。カムの変位を任意に与えると、それに応じて振幅が与えられ、カムの回転角速度を調整することによって、周期は任意に与えられる。この造波装置によれば、規則的周期波をつくりだせるだけでなく、任意の津波波形も発生させることができる。

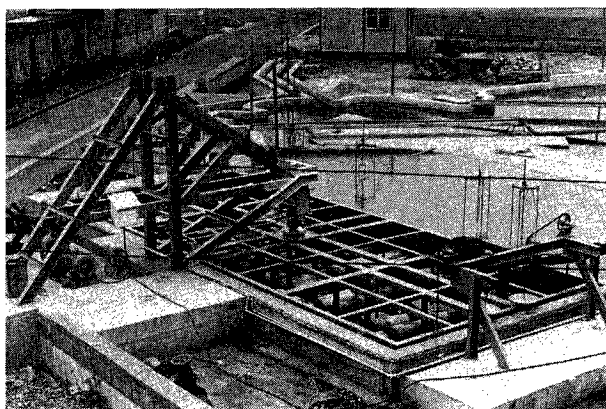


Photo 1 Tsunami generator.

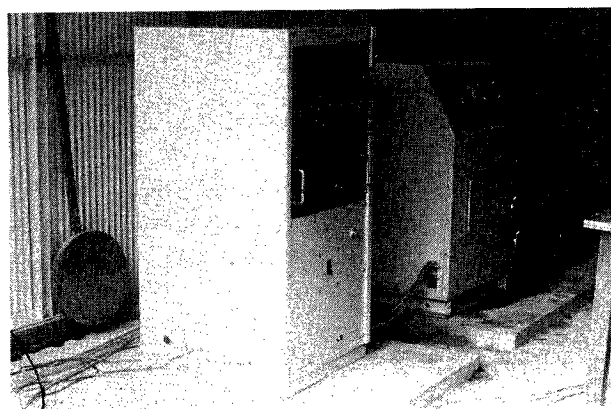


Photo 2 Controller of tsunami generator.

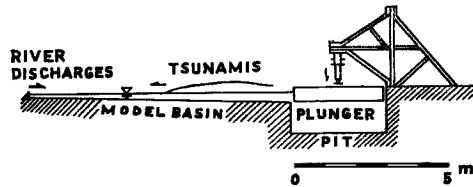


Fig. 1 Schema of tsunami generator.

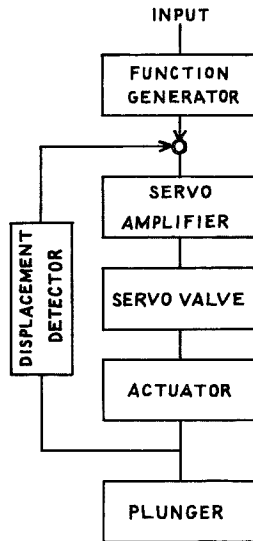


Fig. 2 Block diagram of servo system for tsunami generator.

この造波装置のプランジャーは Fig. 2 のように設置されている。プランジャーは $7\text{ m} \times 3\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ の鋼製の直方体で、制御系の出力端であるアクチュエーターとユニバーサル・ジョイントにより接続されている。プランジャーはアクチュエーターによって駆動され、最大 $\pm 100\text{ mm}$ の変位を与えることができる。入力信号発生器として同一のカムを用いても、カムの回転角速度を変えると別の波形が得られることになる。カムの回転周期は 3 min から 30 min の間で連続的に変えることができる。

3. 模型実験の相似律

高知港に侵入する津波の発生源としては、東南海道地震、南海地震および日向灘地震あるいはアリューシャン列島付近、チリ沖の地震などが考えられる。これらの津波は、土佐湾から高知港口に達するまでに回折や屈折によって、波向線は等深線に直交するようになる。津波の伝播図をつくってみると、高知港付近の水深が $15\text{ m} \sim 20\text{ m}$ のところでは、津波のフロントは等深線にほとんど平行になっているので、 20 m の等深線付近を模型枠取りの1つの限界とした (Fig. 3)。また、津波は高知港内に入り、さらに河川を溯上し、少なくとも感潮域には津波の影響が及ぶものと考えられるから、高知港主要部および高知港に流入する諸河川の感潮域を含む模型をつくることによって、実験を現地と対応づける条件の1つを満すことになる。津波の模型実験において、実験と現地とが対応づけがけるためには、さらに実物と模型との力学的相似関係が保持されていなくてはならない。

津波が高知港口から港内に侵入する問題の場合、模型に歪みを与えると、2次元的に水深変化のある模型内では、津波の屈折や回折が考えられる。簡単な図式計算によって、高知港内に侵入する津波の伝播図を模

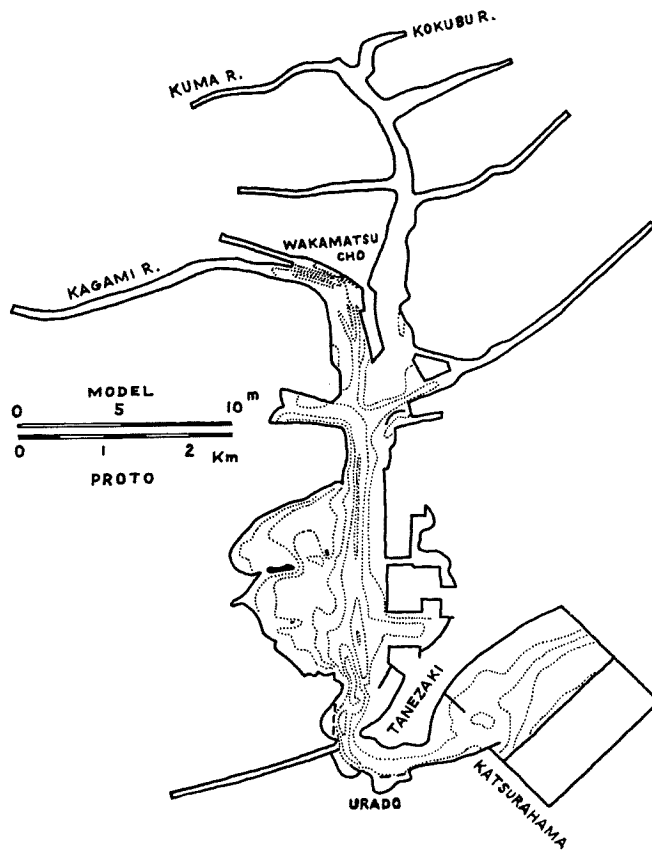


Fig. 3 Plane of tsunami model of Kochi Harbour (present topography).



Photo 3 Bird's eye view of tsunami model of Kochi Harbour.

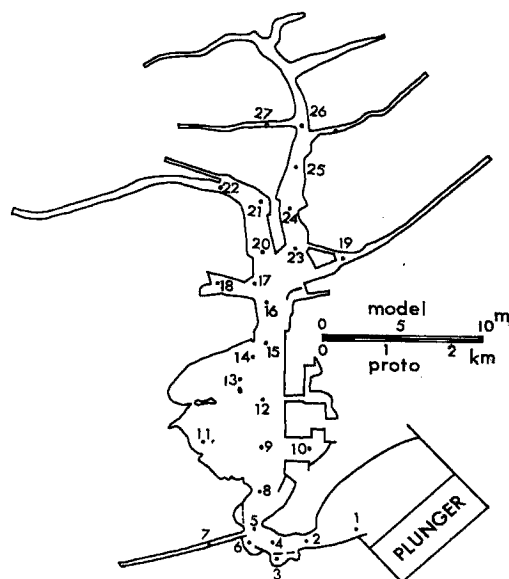


Fig. 4 Location of stations where water levels were recorded in the tsunami model. Tide gauges are located at St. 1, St. 3, St. 7, St. 17 and St. 21 in the prototype of the harbour.

型に歪を与えない場合と歪を与えた場合との両者について作成し、比較検討してみると、歪みが 2.5 (水平縮尺 1/150, 鉛直縮尺 1/100) の場合には、津波の屈折や回折に対する歪の影響は計測誤差の範囲内におさまるものと考えられる。また、Hilo 港における津波実験において、歪が 3 (水平縮尺 1/600, 鉛直縮尺 1/200) の場合には、津波の屈折や反射に対して歪の影響は無視しても差支えないといわれている¹¹⁾。また、河口付近では塩水と淡水とが接触するため、一般には二層流の形成も考えられるが、ここではとくに密度差の効果は考慮しないことにする。

ここにつくった模型に関する力学的相似律は、運動方程式と連続方程式とからもとめられ、つぎのようにあらわされる¹²⁾。すなわち、実物と模型の縮尺比は水平尺度 250, 鉛直尺度 100, 流速 10, 時間 25, 流量 2.5×10^5 , および運動エネルギー 100 である。

水平縮尺が与えられたとき、鉛直縮尺の大小によっては現地が乱流でも模型では層流の場合が起こりうる。このときには現地の乱流における摩擦係数は、現地ではほぼ一定値をとると考えてもよい場合が少なくないが、模型では一般に Reynolds 数の関数であり、問題が津波という時間的に変動する現象のことであるから、上記の相似律を完全に満足させることは非常に困難である。近似的に Manning の流速公式が適用できるとすれば、Manning 粗度係数の縮尺比は 1.365 である。模型で上記の条件を満たす粗度係数を与えるためには、人工粗度を与えればよい。港湾部で礫の多い現地の水底では粗度係数は 0.03 程度と考えられ¹³⁾、縮尺比を考慮すれば、模型では 0.022 程度になるようにモルタル刷毛仕上げとし、0.2 cm～0.3 cm の粗度を与えればよいと考えられる。河川部については、現地河川の状態から判断して、0.3 cm～0.5 cm 程度の粒径で代表される砂礫をモルタル仕上げの河床面にペイントではりつけた¹⁴⁾。実験の結果からみて、河川部について粗度の効果は顕著ではなく、地形変化の影響が顕著であった。

水位計測には電気抵抗線式水位計をストレイン・メーターを通してフォト・コーダーにつないで連続的に同時記録させた。水位変動を動的に把握するための資料として、模型内の主要水域について、流速計測を行なうことにした。このために浮子を用い、この浮子を 16 mm あるいは 8 mm のシネ・カメラによって撮影追跡した。

4. チリ津波の再現

高知港におけるチリ津波の記録は桂浜 (St.1), 浦戸 (St.3) および若松町 (St.21) の3検潮所で得られている¹⁵⁾。模型水槽で初期水位を適当に設定して得られた波形を、前述の力学的相似律にもとづいて現地の尺度に換算し、現地の津波記録のうちはじめの約3.5時間の記録について対比する。波形の一致しない部分については、津波造波装置の入力としてのカムの形状を力学的な考慮のもとに修正し、できるだけ実験波形が現地記録に一致するようになるまで反覆する。このようにして得られた実験波形と現地記録とを対比させたものが Fig. 5 である。St.1 の記録についてみると、波形は両者ともよい一致を示しているといえる。St.3 では実験波形が現地記録よりもやや高い水位を示している。この高さのずれは実験誤差の範囲を越えているが、その原因を何に帰すべきか検討する必要がある。St.3 の検潮所の立地条件から考えても、検潮所は高知港口の湾曲部外周にある。津波の伝播におよぼす湾曲の効果は力学的相似律が成立していれば、現地も模型もそれぞれ対応できることであるから、St.3 に関する2つの波形は一致しなくてはならない。したがって、これ以外の要因の1つとして模型の歪みの効果が考えられるが、さらに検討されるべき問題であろう。St.21 の記録では、波高は現地記録に比べて実験波高の方が大きく、約2倍になっているが、山および谷のみられる時刻はよく一致しているといえる。波高について現地と実験との差が生じた原因もこれだけの実験結果からでは十分明確にはできないが、St.21 の付近では港内航路から鏡川へと河床が高くなっていることから、この1つの原因として波の浅水効果を含めた局地性が顕著にあらわれているのではないかと考えられるが、この点についても今後詳細に検討していきたい。

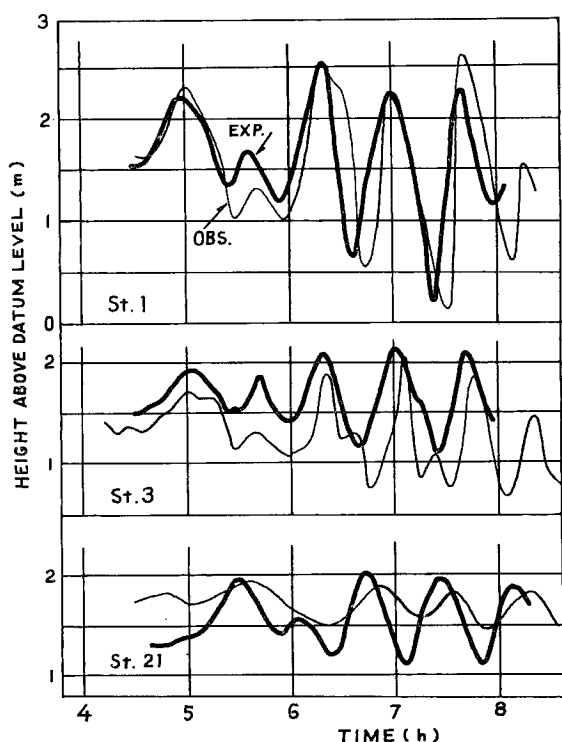


Fig. 5 Reproduction of Chilean Tsunami in Kochi Harbour (result of the experiment was reduced in the scale of prototype).

5. 現況模型における水位変動

津波の周期に近い波が高知港に侵入した場合の水
位変動特性を検討してみると、つぎのようになる。
初期水位を桂浜 (St.1) において平均潮位 (D.L.
+1.00 m) とし、波高約 4 m の波を周期 25 min,
50 min, 75 min および 125 min について実験し、
湾内の波高変化を検討した。模型は河川流量のある
場合も実験できるようになっていて、鏡川および国
分川においてそれぞれ 125 m³/s, 250 m³/s, 500
m³/s および 1000 m³/s の流量がある場合について
実験した結果は Fig. 6 のようになる。Fig. 6 で
は周期および河川流量を実験尺度で表わしてある。
流量が増すと港口から侵入した規則波の波高は、減
衰する傾向が顕著である。周期が長い場合には、港
内の波高はほとんど一樣になる傾向があり、港口の
弯曲部が節のようにになっているが、これは断面変化
も関係していると考えられる。周期が短くなると、
港口弯曲部から港の奥に行くにつれて波高が減少
する傾向がある。

6. 現況模型における計画津波

高知港に侵入する津波に関しては、浜田、堀口、
加藤および金子¹⁶⁾らが数値計算を行っており、ま
た、高知港口付近については津波防波堤の効果に関
する模型実験が1964年以降運輸省港湾技術研究所¹⁷⁾
によって実施されている。高知港に流入する主要河
川の合流点付近に侵入する津波については、堀口
ら¹⁸⁾が数値計算を行なっている。これらの計算あるいは実験において用いられた計画津波の性状は、とくに
南海地震のときの津波とチリ津波とをもとにして決定されている。浜田らの計算のときには、桂浜における
津波の山を平均満潮面上 2.4 m, 谷を -1.5 m となるようにとっている。また、津波の周期は 30 min と
し、緩和時間を考慮している。

チリ津波の再現性の実験に用いた記録の範囲でのパワー・スペクトルは Fig. 7 のようになっている、卓
越周期は 30 min~35 min である。また、日向灘地震による津波のパワー・スペクトルは Fig. 8 のよう
であり、卓越周期は約25分と考えられる。これによって数値計算において計画津波の周期を 30 min としたこ
とは適切であったと考えられる。この実験においても計画津波の周期を同じものとした。また、津波の侵入
前の水位 (初期水位) を平均満潮位 (D.L. +1.89 m) とし、これを基準にして桂浜における津波の山を
+2.4 m, 谷を -1.5 m となるようにして実験をすすめることにした。

現況模型 (Fig. 3) で高知港口付近における水位変動と流速とを計画津波の侵入時について実験した結果
を現地の尺度に換算して図示すると、Fig. 9 のようになる。これからみると、St.1, St.2, St.4, St.5 お
よび St.8 の各測点について水位変動と流速とは位相がほぼ一致しているので、これらの測点のある高知港
口弯曲部の航路では、計画津波は港内へ向かう進行波とみなすことができる。もし反射波があったとして
も、その成分は微小なものであると考えられる。河川部の一部では反射があるであろうが、計画津波の

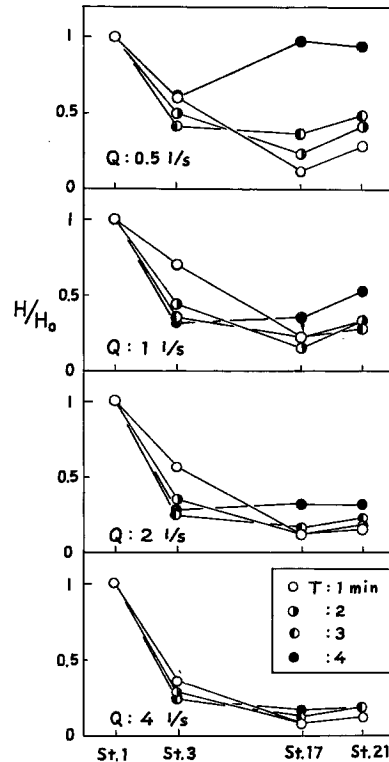


Fig. 6 Wave height distribution of tsunamis along the navigation course in Kochi Harbour (present topography) with regard to periods of the tsunamis and to the river discharges which are shown in the model scale.

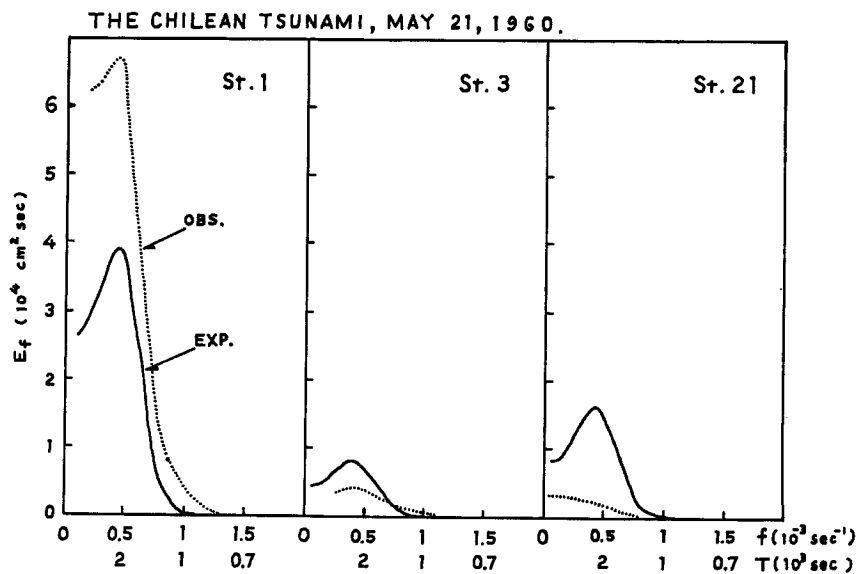


Fig. 7 Spectra of the Chilean Tsunamis in Kochi Harbour (result of the experiment was reduced in the scale of prototype).

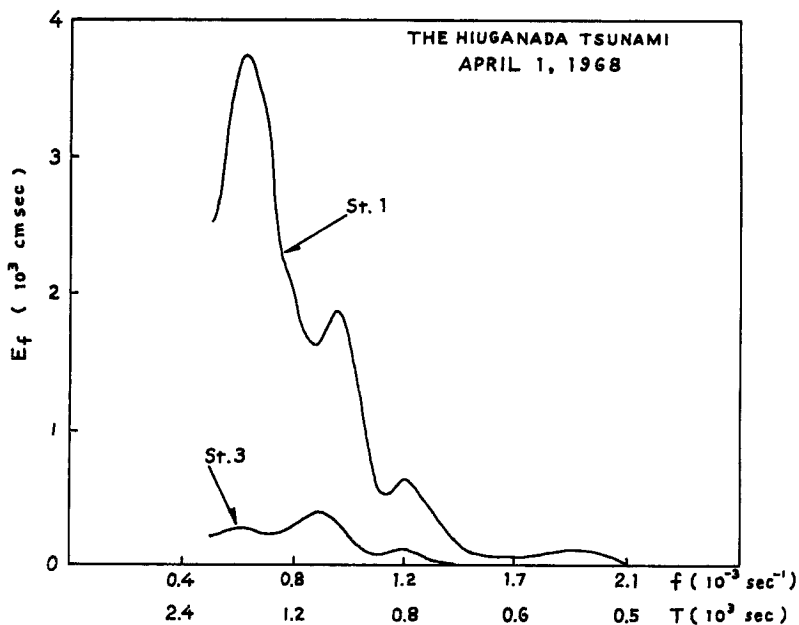


Fig. 8 Spectra of the Hiuganada Tsunamis in Kochi Harbour.

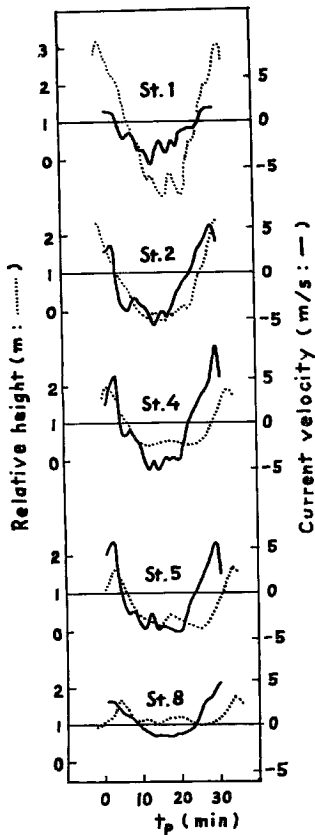


Fig. 9 Time changes of water levels and current velocities near the entrance of Kochi Harbour in the model of present topography (in the scale of prototype).

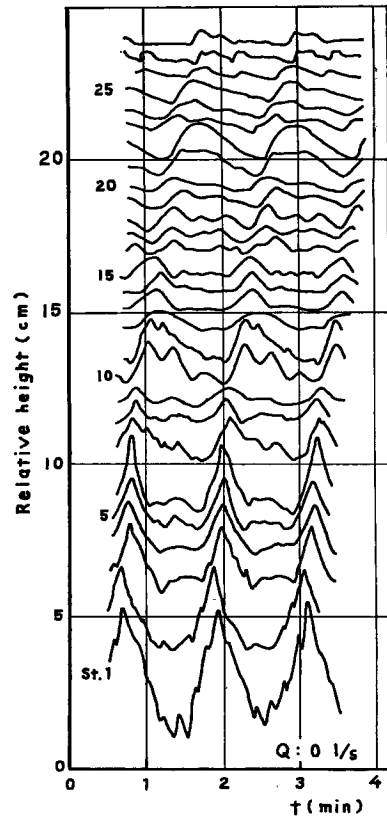


Fig. 10 Propagation and deformation of a design tsunami in the tsunami model of Kochi Harbour (present topography) in the model scale.

波形こう配は 2×10^{-4} 程度であるから、波の変形後の問題を除けば、模型側壁の状態を考慮しても反射率は 0.01 以下になっていると考えられる¹⁹⁾。

計画津波は港口から侵入するとともに波形が変化し、位相もずれてくる。これには、津波の伝播速度が水深によって異なり、底面勾配によって屈折がみられ、また断面変化の顕著なところでは、回折がみられるなどの原因が与えられる。また、前述の反射の問題もあり河川部では浅水効果もあらわれる。これらの要因が相互に影響して津波の変形がみられるものと考えられる。たとえば、現況模型で計画津波が高知港に侵入する場合の波形の変化は Fig. 10 のようになる。平常時の河川流は高知港口の津波による流れに比較して微小であるので、この場合には河川流量はないものとした。Fig. 10 の測点の位置は Fig. 4 に示されている。この図をみると、St. 10 のような泊地では固有の静振が誘起されることがよくわかる。航路に沿ってみれば、港口から航路に沿って St. 16 付近までは波高は小さくなる傾向があるが、河川部では再び波高が高くなっている。これは河川の断面変化や浅水効果によるものと考えられる。

この計画津波が港口から侵入する場合、津波峰高分布の実験結果は Fig. 11 のようになり、津波波高分布は Fig. 12 のようになる。また、桂浜を基準として津波の走時をもとめると、入射波のみについての

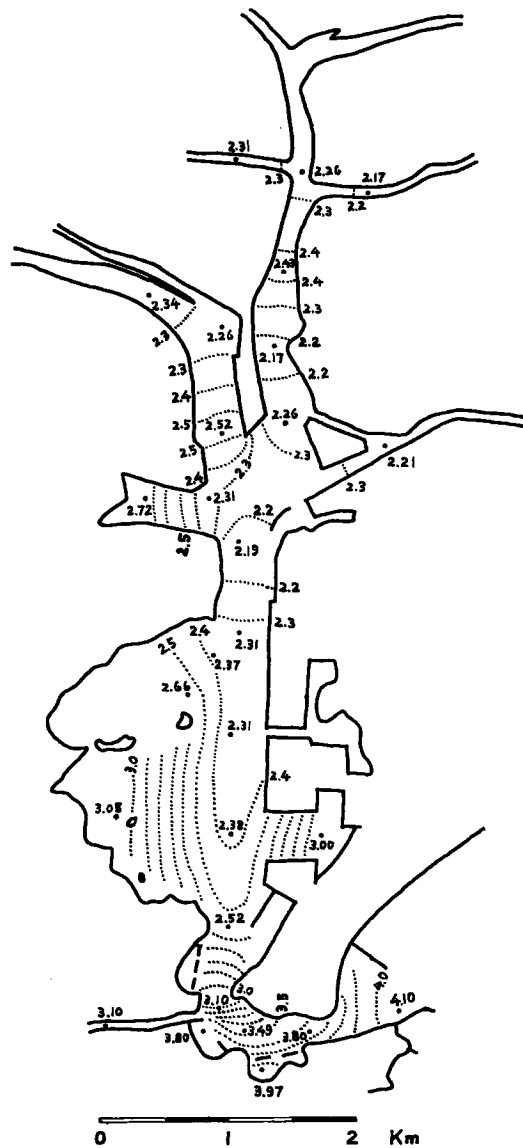


Fig. 11 Distribution of crest height of a design tsunami in the model of Kochi Harbour (present topography) in the scale of prototype(unit: D.L. m).

計算値は Fig. 13 の点線のようになり、実験結果は各測点で与えられたような値になる。計画津波が港内施設に被害を及ぼすかどうかをみるには津波峯高分布をみればよいが、津波の波としての特性を調べるには、津波波高分布と津波の走時とに着目すればよい。これらの実験結果から得られた図をみると、2 次元的に津波の特性を検討する必要がある、数値計算において浜田ら¹⁰⁾が行なったように航路沿いに津波の特性を追跡するだけでは十分といえない。また、Fig. 11 をみると St. 11, St. 9 および St. 10 を結ぶ線上で峯高は航

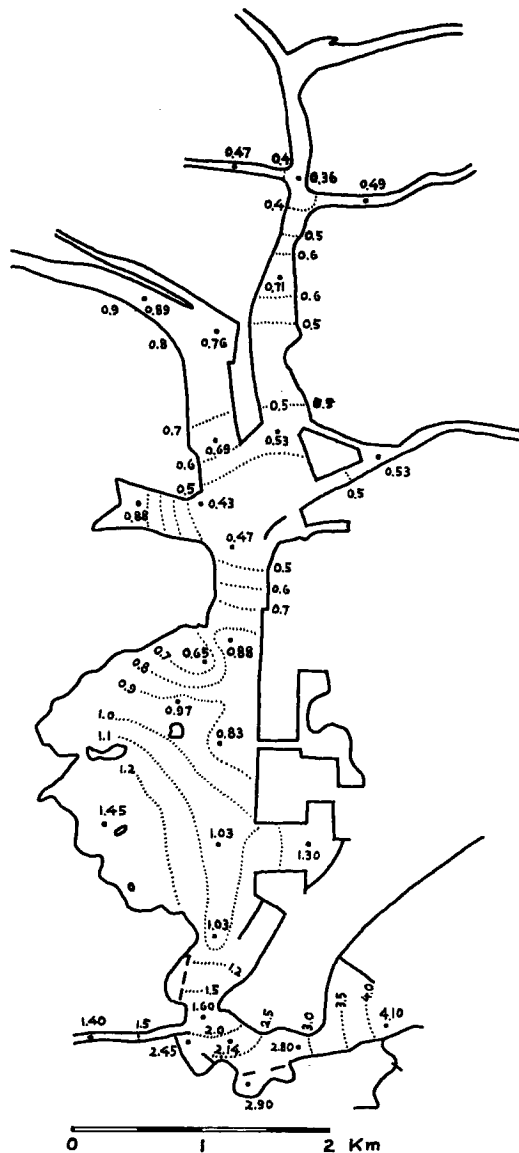


Fig. 12 Distribution of wave height of a design tsunami in the model of Kochi Harbour (present topography) in the scale of prototype(unit: m).

路の両側で高くなっており、**Fig. 12** をみると波高も航路の両側で高くなっている。これは航路の方向以外の2次の港湾振動が誘起されていることを示すものと考えられる。港口湾曲部を除けば、津波の走時は実験値と計算値とはほぼ一致しているから全体として(第1近似として)計画津波はほとんど進行波であると考えて差支えないであろう。港口湾曲部における峯高分布をみると、湾曲部外周では高く、内周では比較的低くなっている。この傾向は河川湾曲部における水位分布とよく似ている。

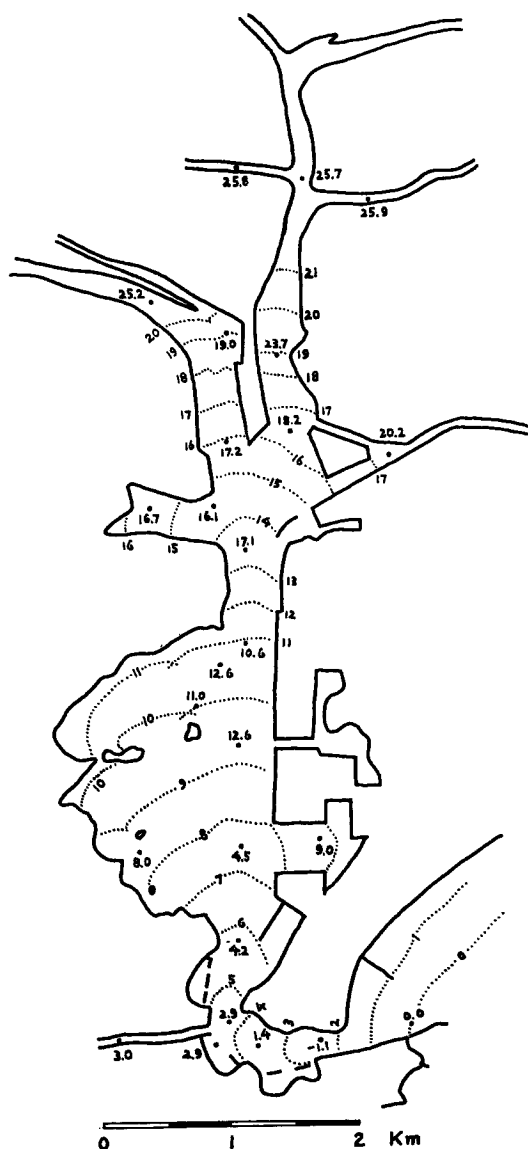


Fig. 13 Travel time of a design tsunami in the model of Kochi Harbour (present topography) in the scale of prototype (the experimental values given at the stations and the calculated values in minute on dotted lines respectively).

7. 浚渫，埋立および津波防波堤の計画津波に対する効果

高知港内の一部を埋立て，河川下流部の一部と航路とを浚渫した場合，港口から侵入する計画津波の挙動は現況の場合とは異なったものになると考えられる。この問題を検討するために，高知港の埋立および浚渫が Fig. 14 であらわされるような場合について実験を行なった。また，港口狭窄部で浦戸と種崎との間に

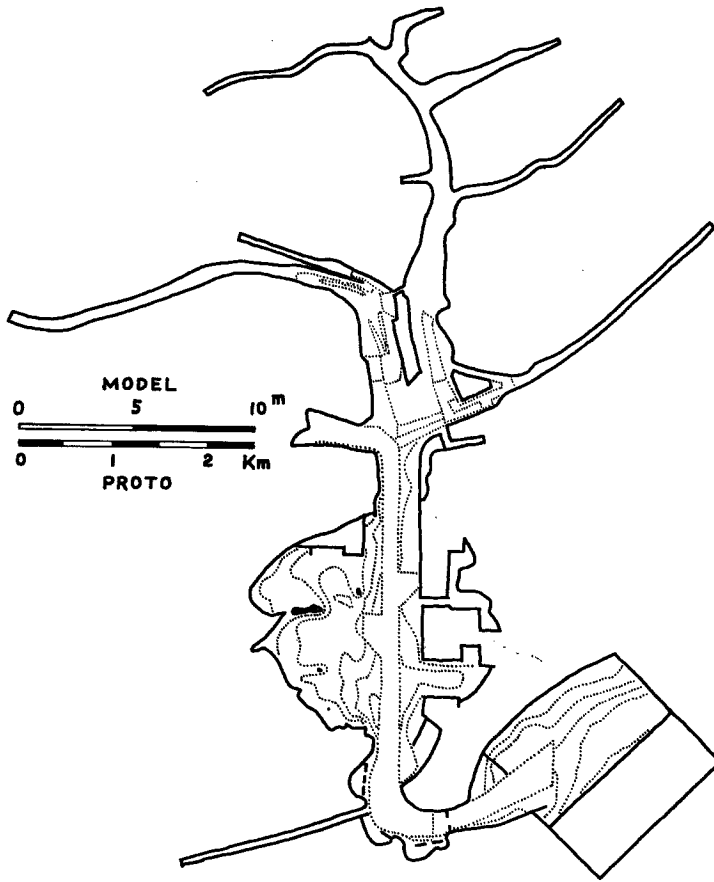


Fig. 14 Plane of tsunami model of Kochi Harbour (one of the cases after dredging and reclamation).

津波防波堤をつくった場合とつくりえない場合についても実験的に検討する。

実験において用いた計画津波の特性は、桂浜 (St.1) に対して現況模型の場合と同じである。すなわち、初期水位を平均満潮位 (D.L. +1.89 m) とし、これを基準として波の山は +2.4 m, 谷は -1.5 m であり、周期は 30 min であるようなものを計画津波とした。

浚渫および埋立のために計画津波の高知港内における挙動は、現況とは異なり、一般に波高および峯高は現況におけるよりも高くなる。それぞれの測点における波高と現況における波高との比をもとめ、これを Fig. 15 に示す。St.1 において上述の比が 1.00 であっても、港内では 1.40~1.36 の値をとり、河川下流部では 3.00~5.40 の値をとる。

浚渫、埋立および津波防波堤の効果を Fig. 15 におけると同様にして表示すると、Fig. 16 のようになる。Fig. 14 のように浚渫、埋立が実施され、津波防波堤がある場合の津波波高と現況における波高との比が St.1 において 1.00 であっても、港内では 1.4~2.4 の値をとり、河川下流部においては 1.99~4.03 の値をとる。Fig. 15 と Fig. 16 とを対比してみると、津波防波堤の効果によって波高比の値が小さくなっていることがわかる。

浚渫ならび埋立実施後の模型について、津波防波堤のある場合とない場合との波高比を Fig. 15 および

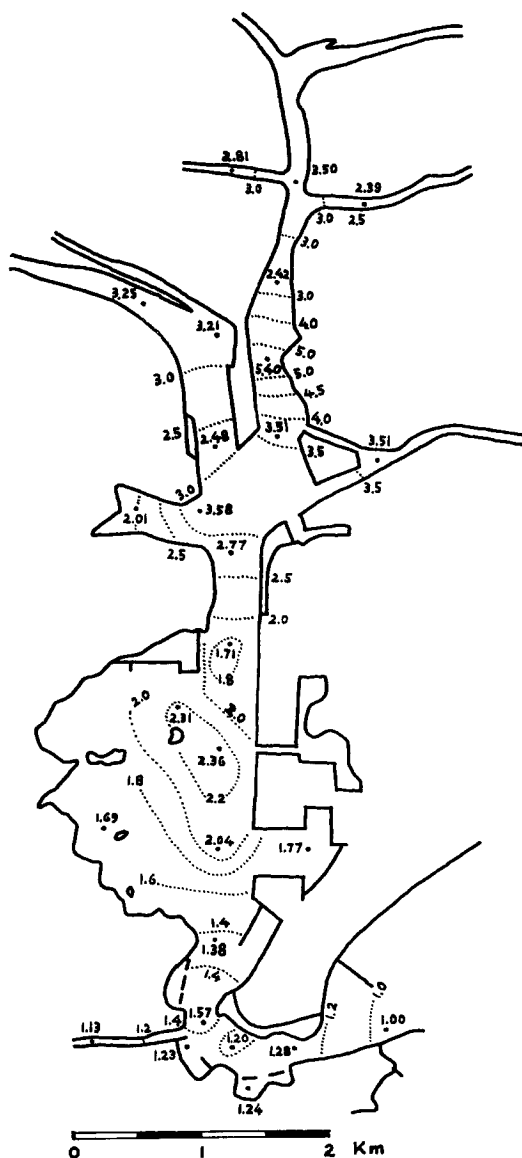


Fig. 15 Effect of dredging and reclamation on distribution of wave height of a design tsunami in the model of Kochi Harbour (ratio of the wave height in the model after dredging and reclamation to that in the model of present topography).

Fig. 16 と同様にして表示すると Fig. 17 のようになる。これを見ると津波防波堤の効果によって、波高比は全般に 1.00 より小さく、港内航路では 0.70 になるところもある。埋立地付近の St.14 では 1.33 なる値をとっているが、これは航路を通して侵入する津波と島と島との間を回折した津波との干渉に反射の影響が重なったのではないかと考えている。このような波高比の分布は Figs. 15 および 16 におい

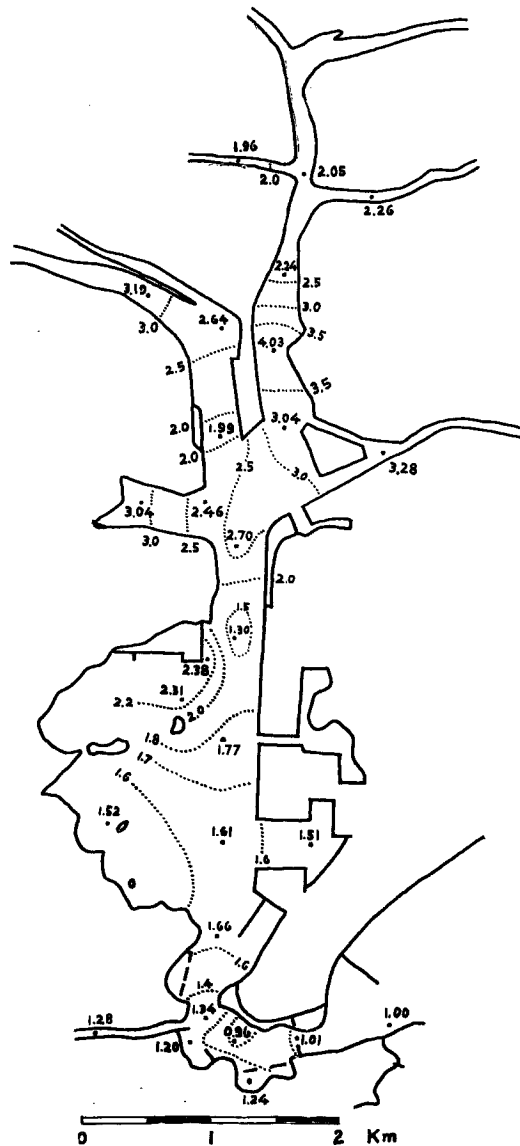


Fig. 16 Effect of dredging, reclamation and tsunami breakwaters on distribution of wave height of a design tsunami in the model of Kochi Harbour (ratio of the wave height in the model after dredging and reclamation to that in the model of present topography).

でも指摘できる。

現況に比べて、浚渫および埋立にともなう津波の変形は、とくに河川下流部で顕著であり、津波防波堤のある場合もない場合も波状段波があらわれる。津波防波堤がある場合について波形記録を示すと Fig. 18 のようになる。Fig. 18 には実験における相対波高の時間的变化として示されている。Fig. 18 の上段の図

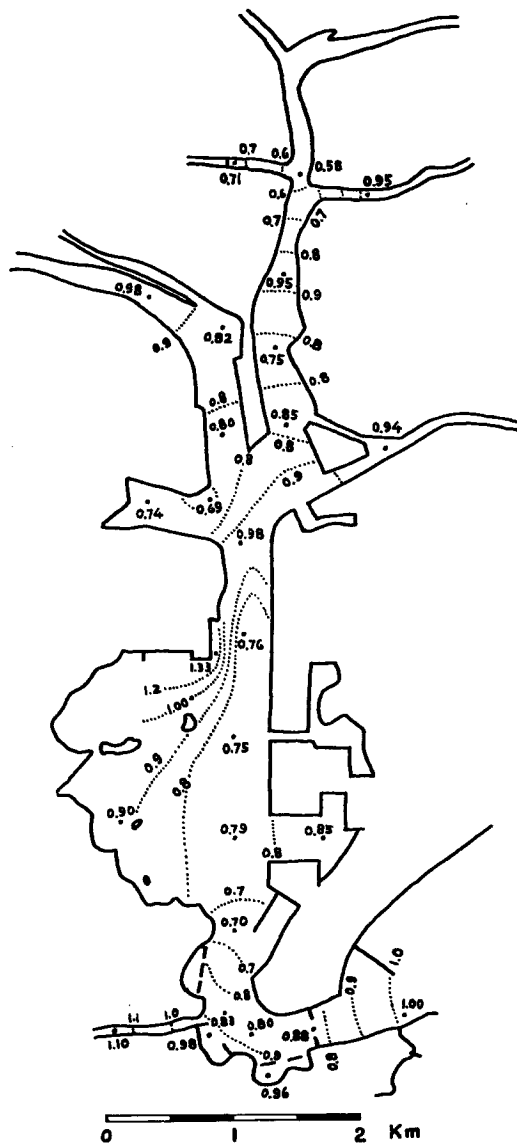


Fig. 17 Effect of tsunami breakwaters on distribution of wave height of a design tsunami in the model of Kochi Harbour after dredging and reclamation (ratio of the wave height in the model with the tsunami breakwaters to that without the tsunami breakwaters).

によって津波が変形して波状段波に移行する過程がよくわかる。時間軸を拡大して St. 25 における波状段波を示したのが Fig. 18 下段の図である。津波の侵入にともなう波状段波の発生は、過去の多くの津波においても認められてきた事実であって、津波の変形の一過程としての波状段波が実験的^{20), 21), 22)}にあるいは理論的²³⁾に研究されている。この問題についてもさらに詳細な検討が必要であろう。

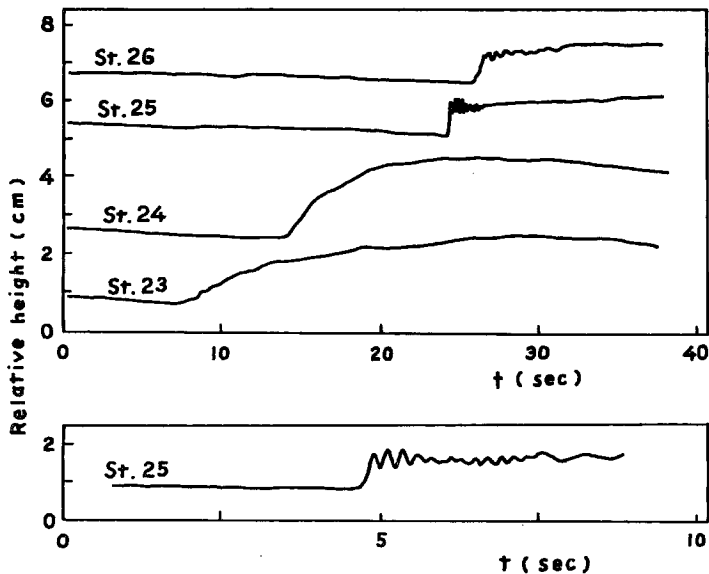


Fig. 18 Generation and propagation of an undular bore in the model of Kochi Harbour (in the model scale).

8. 結 語

以上、高知港の津波について模型実験を行なった結果をまとめると、つぎのようになる。

- 1) はじめに津波造波装置の機能および高知港の津波の模型実験における力学的相似律を検討した。
- 2) つぎに、高知港におけるチリ津波が、模型においてはほぼ再現できることを示した。河川流のある場合の津波の特性についても検討した。
- 3) さらに、現況模型について計画津波の実験を行なった。この実験によって計画津波の峯高分布、波高分布および走時が、2次元のひろがりをもったものとして検討されるべきであることを指摘した。地形が複雑なので、波としての諸現象が種々の形態であらわれている。
- 4) 港内の一部を埋立て、航路を浚渫した場合の計画津波の波高を現況と比較検討した。さらに、港口に津波防波堤を設けた場合についても同様な検討を行なった。その結果、津波防波堤を設けることによって港内の津波波高が小さくなるが、埋立地の前面で局部的に波高が大きくなること、および浚渫埋立後の模型の河川下流部では津波が変形して波状段波に移行することがわかった。

このように、高知港における津波の研究を模型実験によって行なった結果、多くの問題点が指摘された。これらの問題点についても、今後詳細な検討を加えていきたいと考えている。

最後に、本研究を遂行するにあたり、運輸省第3港湾建設局ならびに高知県土木部の絶大な協力を得たことを記して感謝の意を表わすとともに、本研究をまとめるにあたり助力を頂いた関係各氏に心から謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) Iida, K.: Earthquakes Accompanied by Tsunamis Occurring under the Sea off the Island of Japan, Jour. Earth's Sci., Nagoya Univ., Vol. 4, No. 1, 1956, pp. 1~43.
- 2) 岩崎敏夫・三浦晃：気仙沼湾の津波の模型実験について，第8回海岸工学講演会講演集，1961，pp. 51~56.

- 3) 岩崎敏夫・楊沢民：長波の研究用造波装置とその特性について(2)，第14回海岸工学講演会講演集，1967，pp.114～117.
- 4) Higuchi, H.: Local Characteristics of Tsunami, Proc. 11th Pacific Science Congress, Vol. 2, 1966.
- 5) 中村重久：水圧式造波装置とその模型実験への応用について，京都大学防災研究所年報，No. 12B, 1969，pp. 645～655.
- 6) Grigorash, Z. and A. B. Zaklinski: Modelling with Tsunamis in the Second Kuriles Strait, Izv., Geophys. Ser., No. 5, 1962, pp. 681～692.
- 7) Krivoshei, M. I.: Experimental Determination of Inundation Limit of Tsunamis Neighbour Kamchatka, Problem of Tsunamis, Izdat. Nauka, 1968, pp. 184～197.
- 8) Wong, K. K., A. T. Ippen and D. R. F. Harleman: Interaction of Tsunamis with Oceanic Islands and Submarine Topographies, Hydrodynamic Lab., Dept. Civil Eng., M. I. T., Report No. 62, 1963, pp. 1～86.
- 9) Palmer, R. Q., M. E. Mullvihill and G. T. Funasaki: Hilo Harbour Tsunami Model-Reflected Waves Superimposed, Coastal Eng., Santa Barbara, Sp. Conf., ASCE, 1965, pp. 21～31.
- 10) 岩垣雄一・土屋義人・中村重久：津波造波装置について，第16回海岸工学講演会講演集，1969，pp. 321～326.
- 11) 前出9).
- 12) 岩垣雄一：海岸および港湾の模型実験について，海岸工学の最近の進歩，土木学会関西支部，1961，pp. 21～42.
- 13) 土木学会：水理公式集，昭和38年増補改訂版，1963，p. 10.
- 14) 足立昭平：固定床河川模型水路の人工粗度に関する研究，学位論文，京都大学，1961.
- 15) チリ津波合同調査班：1960年5月24日チリ地震津波に関する論文および報告，1961，p. 387.
- 16) 浜田徳一・堀口孝男・加藤始・金子正久：水路に侵入する津波の計算—高知港の場合—，第8回海岸工学講演会講演集，1961，pp. 30～35.
- 17) 柴山煥彦・木村久雄・武村莞爾：高知港津波防波堤に関する模型実験，運輸省港湾技術研究所報告，Vol. 3, No. 2, 1964，pp. 14～18.
- 18) 堀口孝男・高隆二：湾および河川網に侵入する津波の計算，第12回海岸工学講演会講演集，1965，pp. 14～18.
- 19) 土木学会：水理公式集，昭和38年増補改訂版，1963，p. 478.
- 20) 室田明・岩田好一郎：段波の変形に関する研究，土木学会論文集，No. 160, 1966，pp. 49～58.
- 21) 中川博次・中村重久・市橋義臣：段波の発生とその発達に関する研究，京都大学防災研究所年報，No. 12B, 1969，pp. 543～553.
- 22) Fukui, Y., M. Nakamura, H. Shiraishi and Y. Sasaki: Hydraulic Study on Tsunami, Coastal Eng. in Japan, Vol. 6, 1963，pp. 67～82.
- 23) Peregrine, D. H.: Calculations of the Development of an Undular Bore, Jour. Fluid Mech., Vol. 25, 1966，pp. 321～330.