

高知港の津波に関する模型実験 (2)

—— 津波防波堤の効果と河川流量の影響について ——

中村 重久・岩垣 雄一・土屋 義人

TSUNAMI MODEL EXPERIMENT OF KOCHI HARBOUR (2)

—— On the Effects of Tsunami Breakwaters and of River Discharge ——

By *Shigehisa NAKAMURA, Yuichi IWAGAKI*
and *Yoshito TSUCHIYA*

Synopsis

Tsunami model experiment of Kochi Harbour has been continued by use of a hydraulic model. Referring to the reproductivity of the tsunami which was proved formerly, this paper presents the result of the model experiment of tsunami with the consideration of the river discharges in Kochi Harbour.

At first, the influence of the tsunami breakwaters upon the backwater is studied under the conditions of the given river discharges and of the given water level at the entrance of the harbour. It was found that the construction of tsunami breakwaters causes to increase the water level in the harbour. Secondly, transformation of the design tsunami is studied under the condition with the given river discharges. Distributions of the tsunami height are compared for two conditions: 1) with the tsunami breakwaters but the river discharges and 2) without the tsunami breakwaters and the river discharges given. The experiment shows that the distributions for the two conditions are similar to each other.

1. 緒 言

これまでにいろいろの面から高知港の津波に関する研究が行なわれてきた。本研究は、それらのうち、模型実験によって著者らが行なってきた研究¹⁾の第2報である。本研究で用いた模型によっても、すでに、いろいろの研究成果が得られており、いずれも高知港の港湾計画に対して有益な基礎資料となっているのみならず、いろいろの問題点の検討を可能にした。従来、高知港には港湾計画の一環として津波防波堤建設の計画があるが、この津波防波堤の効果についてはこれまでもいろいろの面から検討されてきた。

ここでは、高知港口の津波防波堤が高知港に流入する河川流とそれによる背水に及ぼす影響および津波防波堤がある場合の河川流による津波の変形について実験的に検討した結果を述べる。

2. 模型と実験条件

高知港現況の模型はこれまでの研究ですでに述べられているものと同じである^{1)~4)}。また、本研究のために実験で用いた高知港の浚渫後の将来模型は Fig. 1 に示すとおりである。地形条件として、航路を浚渫し、港内の一部を埋立て、港口に津波防波堤が設けるといふ点が現況とは異なるが、模型の枠取りはほとんど変わらない。ただし、江ノ口川に防潮水門が建設され、その機能が発揮されているという条件も満すようにする。

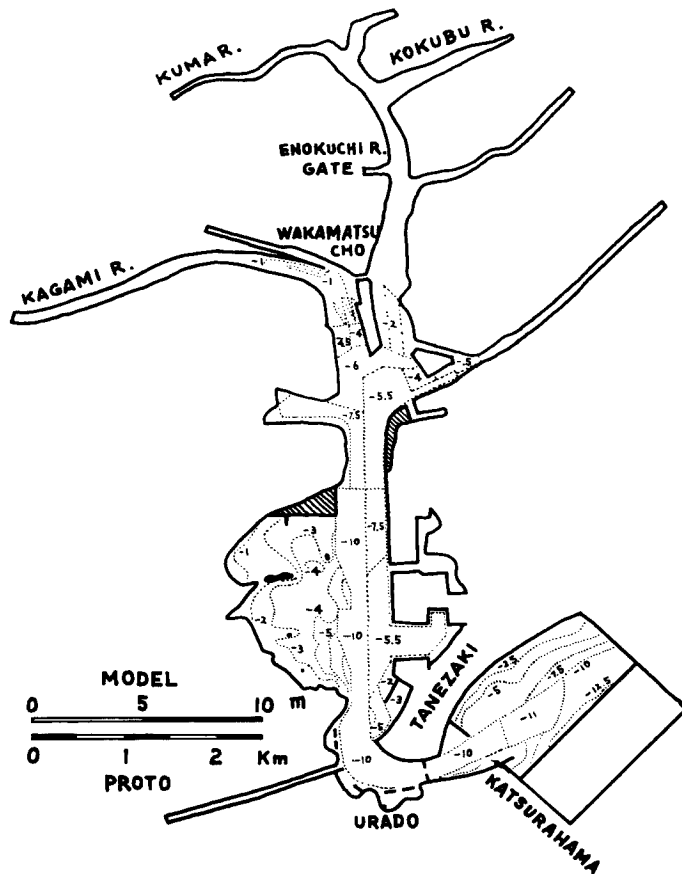


Fig. 1 Plan of Kochi Harbour model of the latest future planning.

このようなことから、模型の鉛直縮尺および水平縮尺は前報の模型実験と同様であり、それぞれ $1/100$ および $1/250$ となる。したがって、力学的相似律も同じで、時間縮尺は $1/25$ 、流速縮尺は $1/10$ などとなる。実験は、原則として潮位が高知港口の桂浜検潮所において平均満潮位の場合の背水と計画津波の港内における変形を対象とする。

3. 津波防波堤の河川流への影響

河川流のある場合、高知港に侵入する津波は河川流によっても変形をうけるはずである。従来、波と流れの相互作用に関する基礎的研究はみられるが、その結果をそのまま高知港の津波模型にあてはめることは妥当ではない。港内の地形は複雑であって、簡単な境界条件に対する1次元理論のみによって流れによる津波の変形を算定することはむづかしい。ところで、数値計算による場合にも、地形の凹凸など細部にわたる境界条件を満足させるためには、大容量の電子計算機によって多ステップの計算をくりかえす必要が生じ、実際には容易ではなく限度がある。ここでは、前報で述べた模型の再現性に立脚し、この問題を模型実験によって検討する。

高知港に流入する河川の影響を考える場合には、河川流が津波の変形にどのような影響を及ぼすかを検討するまえに、あらかじめ、河川流が高知港内の水位にどのような影響を及ぼしているかを実験的に調べると

同時に理論的にも検討する必要がある。河川流のない場合の実験的研究はすでに報告したとおりである⁴⁾。ここでは最近の高知港の将来計画にもとづく模型について考える。

高知港に流入する河川の流量として、いろいろの値を与えることが可能である。ところで、河川計画の面からみると、高知県の資料では、高知港に流入する河川については超過確率年が10~20年であるような流量が計画高水量とされている。この計画高水流量は、高知県土木部によれば、Table 1 のように7河川について与えられている。実験条件を考慮すると、江ノ口川と長浜川では計画高水流量を河川流としてとって

Table 1 Design flood of the river in Kochi Harbour.

River		Design flood in prototype m ³ /s	Design flood in model l/s
Kagami	R.	1700	6.8
Kokubu	R.	800	3.20
Kuma	R.	670	2.68
Shimoda	R.	273	1.092
Funairi	R.	127	0.508
Enokuchi	R.	85	0.34
Nagahama	R.	50	0.20

も、流量そのものが小さい。このため、この2河川については通水断面がほぼ相似になるように模型の条件を与えるが、流量を実験条件に考慮しないことにした。その他の5河川については Fig. 1 にみられる模型河川の上流端から計量堰を通して河川流量を与えることにした。

実験にあたって、河川流量として計画高水流量が与えられた場合について検討する。模型において各河川下流部から港口までに射流となるような場所はないものと考え、下流端条件の港口での堰上げ水位として桂浜検潮所での平均満潮位 (D. L. +1.89 m) を与えることにした。

高知港の浚渫後の模型について、河川流に対する背水実験を上述の条件のもとで行なった。港口付近に津波防波堤のある場合とない場合とについて、それぞれ実験を行なったので、この結果から高知港内の背水位への津波防波堤の影響を知ることができるものと考えられる。港口桂浜から航路および河川流軸に沿って距

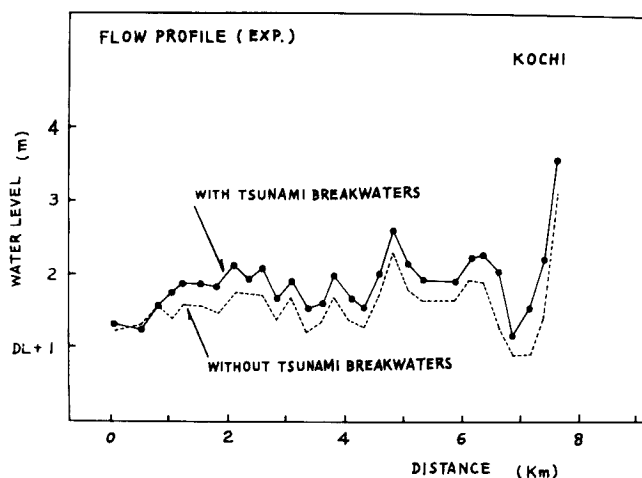


Fig. 2 Effect of tsunami breakwaters on river discharges in Kochi Harbour.

離をとり、高知港内の背水位を図示すると **Fig. 2** のようになる。図中、黒点および実線は港口に津波防波堤がある場合であり、破線は港口付近に津波防波堤がない場合である。これを見ると、津波防波堤は港内に若干の堰上げ作用を与えることがわかる。高知港内の河川流に対する背水位は津波防波堤によって 0.3~0.5 m 堰上げられている。この堰上げ背水の影響は **Fig. 2** の上流側、鏡川筋をさかのぼると漸次小さくなるものと考えられるが、この図からはこの傾向を知ることはできない。港口桂浜検潮所の位置で水位としては D. L. +1.89 m を与えても、桂浜沖航路中心での水位はそれより約 0.5 m 低くなっている。

桂浜における水位として、D. L. +2.35 m を与えた場合、港に桂浜付近での航路横断面での水面形をみると、**Fig. 3** のようになる。図の横軸は桂浜側岸を起点として種崎側へとった距離を示す。すなわち、桂浜側の岸から、航路中心部を経て種崎側の岸へと水位が低下している。この傾向は桂浜の水位を D. L. +1.89 m にとった場合でも認められるものである。とくに、航路浚渫深度が港内側 D. L. -10 m から港外側 D. L. -11 m になる位置に相当する断面付近なので、この航路浚渫深度による航路横断面水面形の差異を検討してみると、港内側では破線で示されるような水面形になり、桂浜側から種崎側へと水位が低くなっているのに対して、港外側では実線で示されるように水位は桂浜側から低くなるが航路中心付近は高くなっている。この

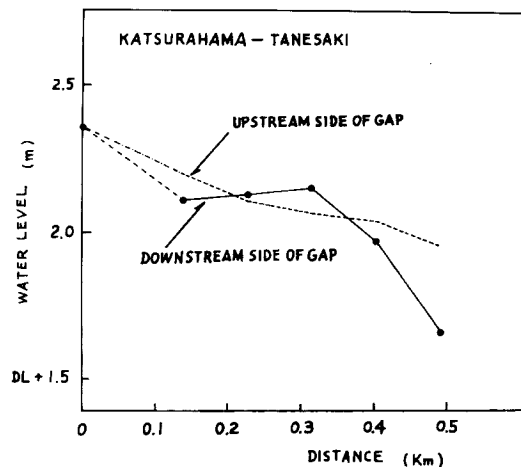


Fig. 3 Water levels across harbour mouth.

2 断面の水平距離は模型で 10 cm (現地で 25 m) 程度しかない。

さて、つぎに、若干の仮定のもとに、高知港に河川流をあて、流軸を航路中心にとって、適当な断面をえらぶ、開水路における 1 次元の漸変流理論が適用できるものとし、Escoffier 法によって上の実験と同様な流量および堰上げ条件に対し背水計算を行なった結果を図示したのが **Fig. 4** である。実線および破線は **Fig. 2** の条件と対応する。港内では津波防波堤による河川流堰上げの影響が約 10 cm あらわれていることがわかる。高知港を 1 次元開水路に近似したために、高知港内の複雑な地形の水面形への影響が実験における結果ほどにみとめられない。計算によれば、津波防波堤のある場合には、その開口部で水位が著しく低下しているが、射流状態になっているわけではない。

このような背水位の差にみられる津波防波堤の影響を考えると、河川流量が計画高水流量よりも小さい場合には、**Fig. 2** および **Fig. 4** にみられるよりも小さい背水位の差が期待される。このことを考慮にいれて、高知港流入河川に流量のある場合の津波の挙動を以下に検討する。

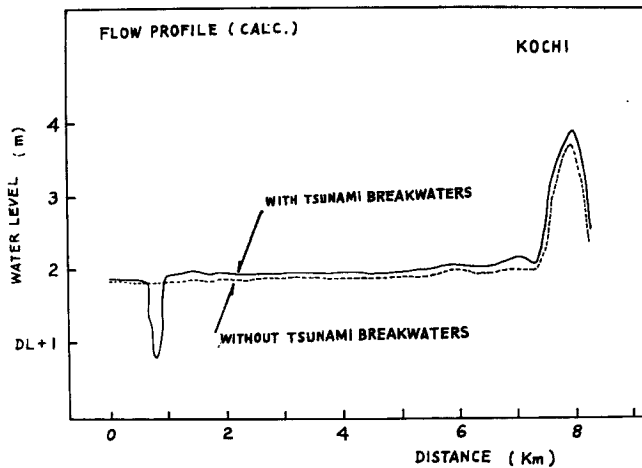


Fig. 4 Brackwater computed by Escoffier's method for gradually varied flow.

4. 河川流による津波の変形

前節の Fig. 2 にみたような水位が与えられ、そのような条件のもとで、高知港に計画津波が侵入してきた場合の高知港内における津波の挙動を実験的に検討する。この場合、前節と同じく、津波侵入前の港口の潮位は、桂浜検潮所の位置で D. L. +1.89 m (平均満潮位) とし、河川流は高知港に流入する 5 河川について計画高水流量を与えるものとする。ここに、計画津波は前報と同様に桂浜で平均満潮位を基準として峯が +2.4 m、谷が -1.5 m であるような、周期 30 min (模型津波周期 1.2 min) の波である。

港口を起点とし、航路沿いに実験によってえられた計画津波の波高分布を示すと、Fig. 5 のようになる。高知港の浚渫模型で、津波防波堤がある場合の波高分布は実線、ない場合は破線で示されている。この図をみると、津波防波堤のある場合はない場合よりも全般に波高は小さく、港奥 (港口からの距離約 5 km 付近) で約 0.1 m、港口彎曲部 (港口から約 1 km 付近) で約 1 m、そして、港口では約 0.5 m の差が認められる。河川流量のない場合の津波の挙動についてはすでに報告したが、その結果を参照すると、河川から計画高水

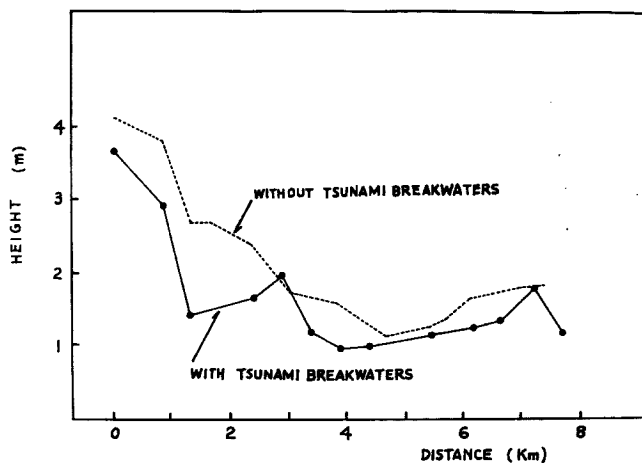


Fig. 5 Tsunami height in Kochi Harbour when the river discharges exist.

流量の流入があって港口に津波防波堤がない場合の津波波高分布は河川流量がなくて津波防波堤のある場合の津波波高分布にほとんど一致しているといえる。このことから、津波波高変化に及ぼす河川流の効果を、津波防波堤の港内に波高減衰の効果を対応させてみると興味深い。

津波の波高を港内で極力小さくすることは、一般的に考えても、港湾機能に障害をきたさないために必要なことである。この意味で前述した検討結果は、高知港の港湾計画をすすめるにあたって参考になる資料であると考えられる。ところで、津波の峯高も港湾における災害防止のために考慮する必要がある。津波による浸水を防ぐためには、海岸堤防や護岸の天端高を津波の峯高を考慮して決定しなくてはならない。

すでに、河川流のない場合の高知港内津波峯高分布については、前報で実験的に検討し、その結果を報告している。河川流のある場合を検討するために、河川流として高知港流入5河川の計画高水流量を与え、高

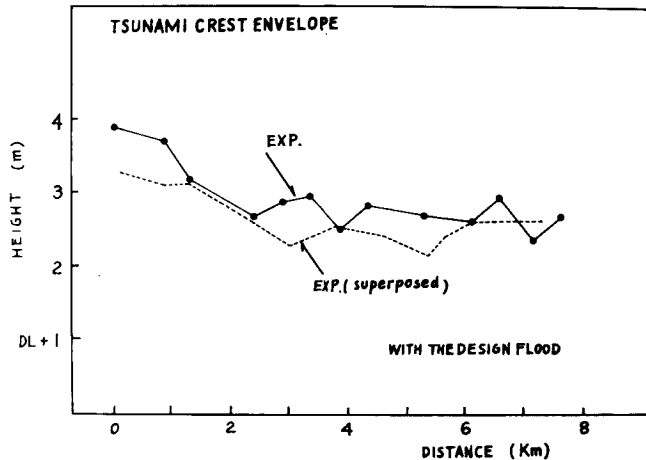


Fig. 6 Tsunami crest height distributions in Kochi Harbour with river discharges.

知港内における計画津波の峯高分布を実験的にもとめると Fig. 6 のようになる。図中の実線は津波防波堤のある高知港浚渫模型で、河川流のあるところに津波が侵入した場合の津波峯高分布である。図中の破線は、河川流のないところに津波が侵入した場合の津波の峯高を初期水位（桂浜の平均満潮位）を基準にとった Fig. 2 の実線で与えられる堰上げ背水曲線の上に加算して得られた相当津波峯高分布である。ここで考えたような線型的な加算が力学的に妥当であるならば、Fig. 6 に示された2つの曲線は一致するはずである。しかし港口での2つの曲線は一致していない。実線の測点は桂浜検潮所の位置であり、破線の測点は桂浜を通る航路横断面で航路中心部の位置である。このような位置の相違のために、Fig. 3 に示したと同様な理由によって、2つの曲線は対応せず、一致しなかったものと考えられる。港口狭窄部から港内にかけては実験値はよく対応し、一致しているとみて差支えない。しかし、港内では全般的に実線が破線より上にある。この2つの曲線の差が線型性を満たさないことによるものと考えられる。港内でもその差は必ずしも一様ではなく、場所によっては約0.5mに達し、またほとんど差がないところもある。河川部に入ると、その差も漸次小さくなるものと考えられるが、Fig. 6 からは十分それを明らかにすることはできない。このような2つの曲線の差は、高知港内の地形が複雑であり、河川流による津波の変形のほかに、津波の反射、回折、屈折などが重なりあい、さらに、これらの要素が相互に作用しあって生じたものと考えられる。これらの要素の作用がどれだけかを定量的に論ずることは容易ではない。ここでは、これらの要素の作用をすべて総括した結果が Fig. 6 の2つの曲線の差となったと言える。

このように、津波の港内における挙動は、港内に流入する河川に流量がある場合には、流量のない場合と

異なっていて、津波の峯高分布をみても、簡単な線型的な検討のみでは必ずしも十分ではない。

5. 結 言

高知港の津波模型を用いて、河川流による背水への津波防波堤の効果と、河川流の津波変形への影響とについて実験的に検討した。

用いた模型は、高知港の最近の将来計画実現時の地形を境界条件としたものである。実験によれば、津波防波堤は河川流を堰上げ、港内水位を上昇させる。河川流として計画高水流量をとるとき、津波波高への河川流の影響は、津波防波堤の効果と同じ程度になる。また、津波と河川流と共存する場合には、高知港内ではかならずしも線型的に現象を考えることはできなく、相互作用やその他の要素も考慮すべきであることがわかる。

高知港は1970年8月21日台風10号のために大きな高潮の被害を蒙った。そのため災害防止には、ここで述べた津波のみでなく高潮の問題も同時に考慮するよう港湾計画が再検討されていることを付記しておく。

本研究をすすめるにあたり、ご援助をいただいた運輸省第3港湾建設局および高知県土木部に心から感謝の意を表わす。佐伯寿昭君には実験および資料整理における助力をいただいた。

参 考 文 献

- 1) 岩垣雄一・土屋義人・中村重久：高知港の津波に関する模型実験，京都大学防災研究所年報，第13号B，昭45.3，pp. 471-488.
- 2) 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，昭44.12，pp. 321-326.
- 3) Nakamura, S., Y. Iwagaki and Y. Tsuchiya: A Model Study of the Transformation of Tsunamis in Urado Bay, Proc. 12th Conf. Coastal Eng., 1970, pp. 2089-2102.
- 4) 防災研究協会：高知港の津波に関する研究，昭44.3，pp. 1-25.