

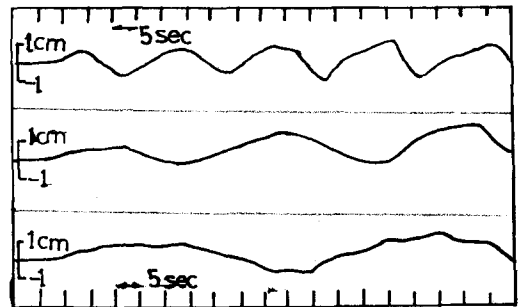
東北大学 工学部 正員 岩崎敏夫
首都高速道路公団 正員 森河久
東北大学 大学院 学生員 〇 真野 明

1. 緒言 現在、津波の湾内での挙動を研究する上で、複雑な線形の境界をもつ湾に対しでは、物理実験による方法が、数値実験とならんで最も有力な手段である。しかし従来実験設備の問題等から、模型の縮尺比が小さくなったり、歪み模形とならざるを得ず、実際の物理現象、特に非線形効果の大きくなる、汀線付近での現象をうまく表わし得ないという問題点があった。そこで本研究では、既存の大型平面水槽を拡張し、延長 64m、幅 15m、側壁高さ 70cm、とし、この中に 1/100 の水平鉛直無歪模型を設置した。すなわち、図一1に示す H湾について、模型実験をした結果について、最初に昭和 8 年の三陸津波と比較するとともに、二三の特徴的な津波の流況を述べる。次に、湾奥の振動特性を述べたのち、最後に湾内最高水位の分布について興味ある傾向を指摘することができた。

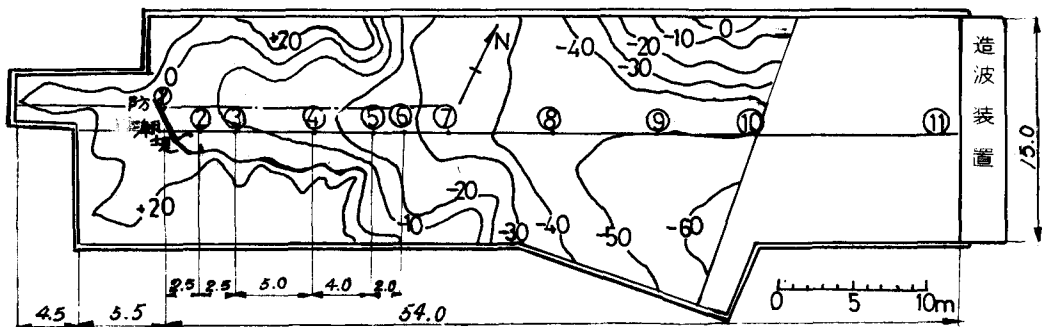
2. 実験概要 1) 実験設備 上述の大型平面水槽に、海底最深部水深 -60 m (模型値)、陸上部標高 20cm までを、水平鉛直無歪、縮尺 1/100 でとり入れた。製作にあたっては、等高線に沿ってベニヤ板を設置し、中詰土砂を入れて、表面をモルタル仕上げとした。造波装置は、既報の長波の研究用造波装置である。

2) 計測 湾軸上に、抵抗線式波高計による波高検出用測点として、①～⑪ (図一1) を設け、又湾内の汀線の最大波高を測定するため a～r の測点 (図一3) を設けた。ここでは 18 番針金によりスタンドを作りこれを設置して こん跡高を測定したのであるが、あまり精度はよくないようであった。又 1 個の記録素子に、6 個のブリッジの出力を 2 r.p.m. のコータリースイッチで交番に与える多点測定用波高計を製作使用した。

3) 実験方法 実験ケースは、自然海浜状態を C-1、これに湾奥防潮壁 (模型天端 D.L. 5cm) を設けた場合を C-2 とした。各ケースとも造波した波は、⑪ 地点 (この点での波を入射波とする) で波高 (全振幅) が、1, 2, 3 cm になるように制御した正弦周期波 (以後、各々 1, 2, 3 cm 波と呼ぶ) であり、15 秒 ~ 240 秒の 17 種類の周期である。図一2に入射波の記録例を示す。



図一2 入射波 (⑪地点) 記録例



図一1 模型平面図

3. 実験結果 1) 水の動き 水平にx,y軸, 鉛直にz軸を設けた場合の運動及び連続方程式より, 水平鉛直の長さ, 速度, 及び時間縮尺を $(K_x, K_z), (K_u, K_w), K_t$ とすると, $K_t = K_z / K_x = K_w / K_u$ となるので, 無歪縮尺にすることにより, 流速の相似律も成り立ち, 其上, 反射のような現象を推定するのに有効であろう。又摩擦項の相似の問題に関しては, 乱流状態を考え Manning の流速公式を適用すると, $f = 2gn^2 / h^{1/3}$ となり 粗度係数縮尺は $K_m = (K_z^{2/3} / K_x)^{1/2} = 1 / 2.15$ で実物の粗度係数を $n = 0.03$ とすると模型では, $n = 0.014$ となり, モルタル仕上げの模型に

よりほぼ実物の摩擦抵抗を表わすものと考えられる。いま実際の津波の観測記録を表-1 にまとめ, これと実験値とを比較してみることにする。図-3 は実験結果でH湾各点での静水面上の最大偏差を示す。図中左列は 2cm 波で上段から周期 20秒, 40秒, 60秒の場合である。周期 20秒の場合には, 視察によると, 点aのような前面が急勾配の小湾において大きくそ上し, 又点e, f のところでは水がはね廻るような感じであるのに対し, i, j は流れのかけになり 所上は小さかった。周期 60秒の場合には明らかに湾口より湾奥値が大きくなっている。これらの差は湾の固有周期との関係によるものと考えられる。昭和 8年の津波は周期 5分(300 秒)といわれているので, 実験では周期 30秒をとりあげ, 同図中右列に上段より, 1, 2, 3cm 波の場合を示す。表-1 のA点及びH湾湾奥に相当する点として, 各々点 j, p を考え, 実測値

表-1 H湾津波観測記録			
	昭和 8年	明治29年	摘要
A 点	4.8m	—	震研報告
H湾湾奥	3.7	—	同上
陸上 上	4.8m	6.6 m	土研報告

の波高比 $4.7 / 4.8 = 0.97$ と各周期の実験値波高比 0.67 (周期20秒), 0.71 (周期30秒, 1, 3cm波の平均), 1.44 (周期60秒) を比べると, 30秒の波高比が最も近く, その中でも 3cm波が対応するものと思われる。次に, 実験の流況を写真で 示す。写真-1 は, C-1, 入射波高 3cm, 周期30秒 2波目の押し波のフロントが湾奥付近に到達した様子を示す。フロントは, 段波を形成しており, この後ろは波立っている。実際の津波で前面が白くあわ立ちながら侵入する様相と非常によく似ている。このような段波が押し寄せた後, 湾奥では, 写真-2のような渦をまく。この写真は, 汀線及び防潮堤天端に螢光塗料(ルミノサイン)を塗り, かつ螢光塗料を塗った浮子にブラックライトを照射して発光させた像を, kodak TRI-X の高感度フィルムを用い, 広角レンズを装着したアサヒペンタックスにより撮映して得たものである。

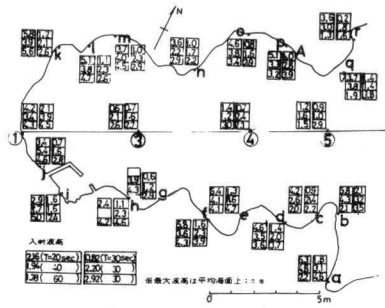


図-3 沿岸最大浪跡高

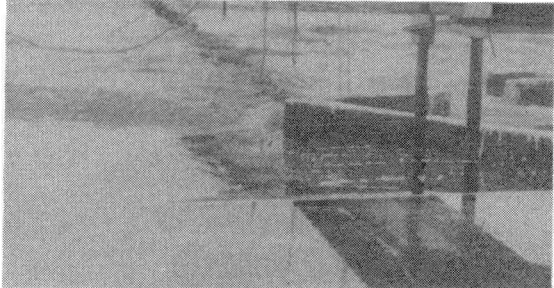


写真-1 段 波

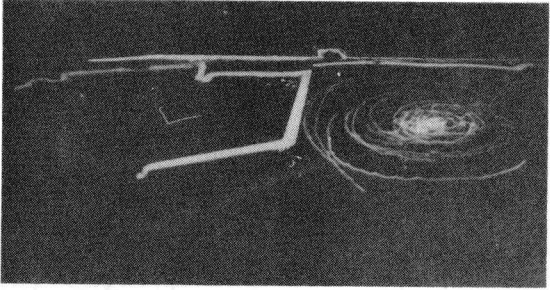


写真-2 渦

2) 振動特性 各測点の波高記録の水の動き始めた時刻から平均的な伝ぱん速度を求めてみたが, それによると波速は周期によらずほぼ一定であった。⑤~①の波速(湾内平均波速)はC-1 の場合 1.13m/sec となり, $C = \sqrt{gh}$ を使って水深を逆算すると, $h = 13.1$ cm となり模型の平均水深とほぼ等しくなる。さて, 湾奥での増幅率 Mを次のように定義する。 $M = 2H_0 / H_0$, ここで H_0 は汀線(①地点)での 静水

面からの最大偏差であるので、入射波高(全振幅)と対比させるため2倍とした。2cm波についてMを図-4に示した。又、合田の理論式と比較するために、H湾を湾長14m、水深13.1cm、湾幅5.12m(湾内の水面積が等しくなるようにとった平均幅)の長方形湾におきかえて計算した結果を一点鎖線で示す。C-1の共振周期は49.0秒(湾長、波長比 $L/\lambda = 0.263$)ピーク値5.7であり、C-1'とはあまり差はな

く、理論式とはかなり共振周期がずれてくるが、実験では湾形による反射波の影響、海底勾配の影響などが複雑に重なり合っているためと思われ、単純な長方形湾におきかえて比較することは困難なようであった。一方C-1とC-1'との比較で防潮堤の影響は、30秒以下の短い周期に現われ、C-1'の二次ピークが顕著になり、明らかな振動系になっていることがわかる。又周期がこの程度に短くなってくると、進行波性が強くなり、写真-1に示したような段波を生ずるので、振動特性を論ずる場合、これをとりのぞいて考えなければならぬが実際、2.5m沖の②で振動特性を調べた結果をC-1について破線で示したが、増幅率は半分に減じられており、このことが裏付けられている。

3) 湾内最高水位 湾の振動特性の影響が、湾奥だけでなく、湾内の各点で出てきていることを前にのべたが、ここでは湾軸上に湾奥からの距離xをパラメーターにとり、C-1の周期20秒、40秒、60秒の場合について増幅率の変化を調べてみた(図-5)。今実験から求められた波速 $C=1.13\text{m/sec}$ を用いて $L=\sqrt{gH}T=CT$ の関係より、各周期を四半波長 $L/4$ に換算すると図-5の

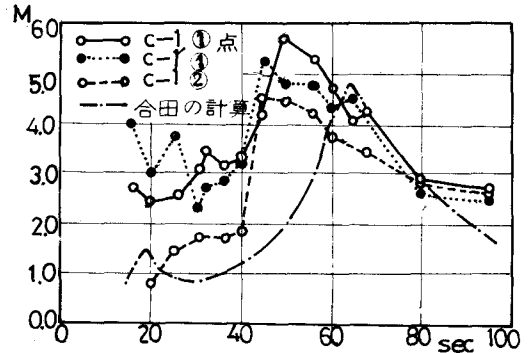


図-4 振動特性

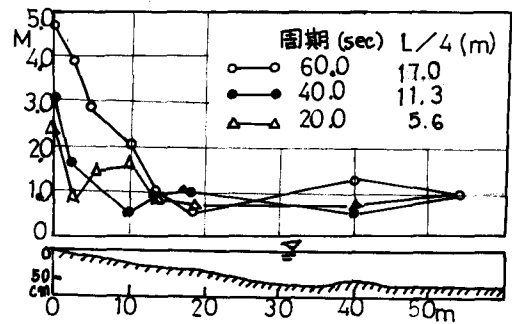


図-5 湾内最高水位分布

右上の値となり、この値を湾奥よりとってみるといづれの周期においても増幅率の立上り点と一致し、湾の途中から共振特性を示すことがわかる。すなわち、第一モードの節が湾の途中にくる場合にはそこより急に波が立上るということになる。

4. 結語 津波の際の湾内各点の最高水位の分布について、実際のH湾による無歪模形実験をおこなったところ、局所的な地形特性、平面的な非対称性等が顕著に認められ、さらに、段波や返し津波の現象など従来の実地踏査において明らかにされた津波の非線形あるいは非粘性効果が再現された。

また、湾奥振動特性については単純な長方形湾近似はほとんど用い得ないことや湾奥では振動性にさらに進行波性が加わる場合があること、また湾軸方向に沿う最高水位の分布では、停止波(Stationary wave)のような分布を示すなど多くの興味ある結果をうることができた。今后はこれらの結果をもとにしてさらに津波の湾内変形に関する研究を進めたいと考えている。最後に、東北大学 佐藤栄司 技官を始め多くの方々の援助をえた。ここに記して感謝の意を表したい。

- 参考文献 1) 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(1)」 第13回海岸工学講演会講演集(1966)、昭和41、p.230
- 2) 岩崎敏夫、富樫宏由・佐藤栄司：「津波の汀線における水理特性と陸上遡上」 第17回海岸工学講演会論文集(1970)、昭和45年、p.42
- 3) 合田良実：「長方形および扇形の港の副振動について」、第10回海岸工学講演会講演集(1963)、昭和38、p.53