

歪なし模型での津波実験

東北大学工学部 正員 工博 岩崎 敏夫

同 上 正員 佐藤 栄司

東北大学大学院 学生員 ○森河 久

1. 序 言

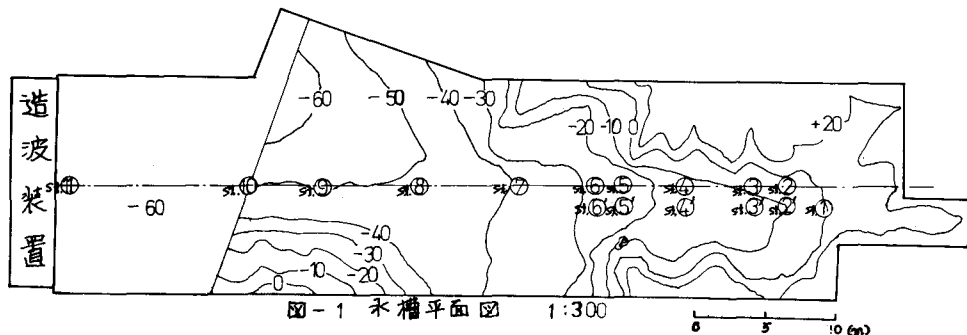
津波を海岸工学的立場から研究するにあたり、津波の発生頻度が少なく、また陸に近づくにつれて shoaling 効果や三次元効果が大きくなる等の理由で、一種のアナログ計算機としての模型実験の果たす役割は大きいと思われる。しかし波長が長く、模型に含ませるべき区域を広くとらねばならないのに、地方規定の精度や抵抗法則の関係で鉛直縮尺はせいぜい $1/100$ 位より小さくはできない。従って利用すべき地積の関係で、水平縮尺を $1/500 \sim 1/3000$ 程度にとった歪模型を用いるのが従来の手法であった。しかし、反射、屈折、回折等の効果はその為に実情とあわなくなり、また歪が大きくなると海底粗度を実際より大きくとらねばならないなどの困難が生じ、実験結果の信頼度を大いに低下する。東北大学では従来の津波水槽に改良を加え、歪なし模型による大型平面水槽での実験を可能にしたので、ここにその結果を報告する。

2. 実験概要

図-1は津波水槽および対象としたH湾の等深線であり、水平、鉛直とも歪なしの縮尺 $1/100$ である。すなわち巾 15 m 、長さ約 60 m で、既報の水槽の側壁高さを今回は 70 cm とし、湾口での水深を 60 cm とした。湾軸は、津波が侵入する時、岬や半島の影響が最も少ないと考えられるENE方向であるとし、これと実験水槽の軸を合わせて設置した。フルード則によって時間、流速縮尺は $1/10$ である。また原型、模型ともに乱流であるから、抵抗法則としてマンニングの公式が適用されるとすれば、粗度係数 n の縮尺率は $1/2.15$ となる。現地の n の値を 0.03 とすれば模型においては 0.014 となり、模型底面はモルタル仕上げでよい。

実験目的は、湾の振動特性をこれによって明らかにしようとするもので、湾内を護岸等によって埋立て、土地造成を行なった場合の振動特性の変化をも明らかにしようとした。従って当初のH湾の実験をC-1、後者の場合の実験をC-2と表わした。水位は東京湾中等潮位にとった。

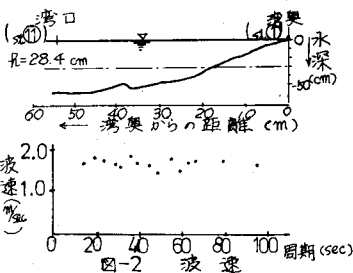
造波装置は既報の電気油圧式自動制御装置であり、波高 2 cm (2 m) の正弦規則波の場合には周期を 15 sec (2.5 min) $\sim 240\text{ sec}$ (40 min) の18種類とし、6波造波した。また別に不規則波として昭和



43年十勝沖津波の際の宮城県江ノ島の換潮記録をカムに刻み、回転速度を変えて2種類造波した。正弦波の場合には図-1に示すst.①~④の波形をペン書オシログラフに、また不規則波の場合には、st. ①②③の3個の波形をデーターレコーダーに記録した。尚C-1の場合st.②~④も測定した。

3. 波速と固有周期

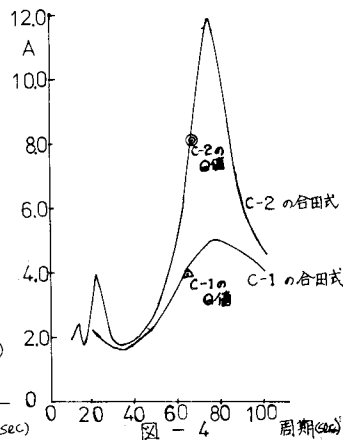
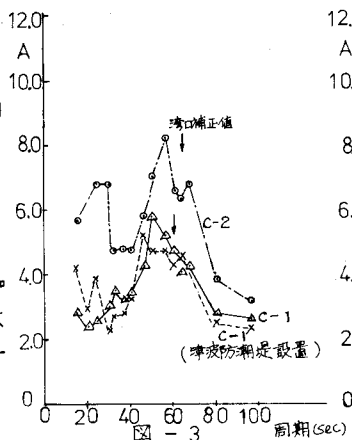
図-2は各測定点の波高記録より水の動き始めた時刻から求めた、st.①からst.④までの伝播速度を周期を横軸にしてプロットしたもので、これにより波速は周期に無関係であることがわかる。原よりこれを逆算すると28.4cm(28.4m)となり、模型の平均水深にほぼ等しい。C-1の場合1.13 m/sec, C-2の場合0.95 m/secであって波長 $\lambda = 14\text{m}$ (1400m)とする矩形湾とすれば、固有周期 $T = 4\lambda/\sqrt{gH}$ よりC-1に対し49.5 sec(8.25 min), C-2に対し58.8 sec(9.80 min)となった。従って明らかに湾中の影響が存在する。



4. 規則波の波高増幅率

自動制御による造波機能は反射波を打ち消すので、st.①の波高は入射波高としてよい。また湾奥ではst.①を当然とすべきであるが、ひき波の露出するので、その際はst.②をとり、後者の前者に対する比を波高増幅率と考えた。

i) C-1 図-3は湾奥が自然海浜状態の場合と津波防潮堤を設けた場合におけるst.①での増幅率の周期による変化を示した。波形勾配が大きいと



進行波性が強く従って防潮堤を設けて重複波を生ぜしめた場合、Aが変ってくる。これは図-3でTが小さい範囲の現象である。しかし周期が大きくなると、自然海浜でも反射効果を生じて重複波は短い波に秒行し、防潮堤を設けても増幅率の変化を生じない。湾の基本振動周期は $T = 60\text{sec}$ (10 min)付近に存在し、湾口補正を行えば62.4 sec(10.4 min)となり、ほぼ一致する。

ii) C-2 図-3にはス護岸等による理正後の増幅率の周期による変化を示した。この場合も湾の基本振動周期は $T = 65\text{sec}$ 付近に存在し、湾口補正值67.0 secになり、ほぼ一致する。湾中を減少した場合ピーク値約1.5倍高めに表われている。図-4に比較のため、矩形湾近似(長さ λ はC-1, C-2とも14m, 巾 d はC-1に対し6m, C-2に対し2m)によって、各々の場合のQ値、合田の理論による計算値を示した。C-1に対し、Q値、合田の理論とも低めであり、C-2に対し、Q値はほぼ一致し、合田の理論は高くあらわれている。そのため理論では湾中の減少によってピーク値が2.2倍も大きな値を示している。これは湾形変化に伴う湾内振動を示している理論に対し、模型が三次元効果を持ち、エネルギー損失が無視できないことを意味している。

5. 不規則波のレスポンス

a. フーリエパワースペクトル

i) C-1 線形応答系においては外洋スペクトルを $S_1(f)$ 、湾のパワー増幅度を $A^2(f)$ 、湾の振中スペクトルを $S_2(f)$ とすれば $S_2(f) = A^2(f) \cdot S_1(f)$ である。ここでは $SL①$ と $SL②$ の波高記録よりフーリエパワースペクトル $S_{F1}(T)$ 、 $S_{F2}(T)$ を求め 近似的に $S_{F2}(T) = A_F^2(T) \cdot S_{F1}(T)$ が成立つものとして解析し、図-5-1 に示した。

この場合不規則波の磁気テープより、1.5 sec 間隔で紙テープ上に

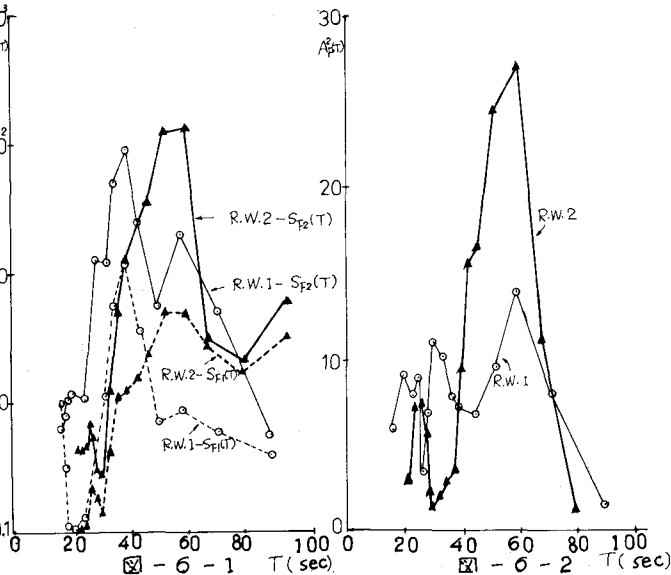
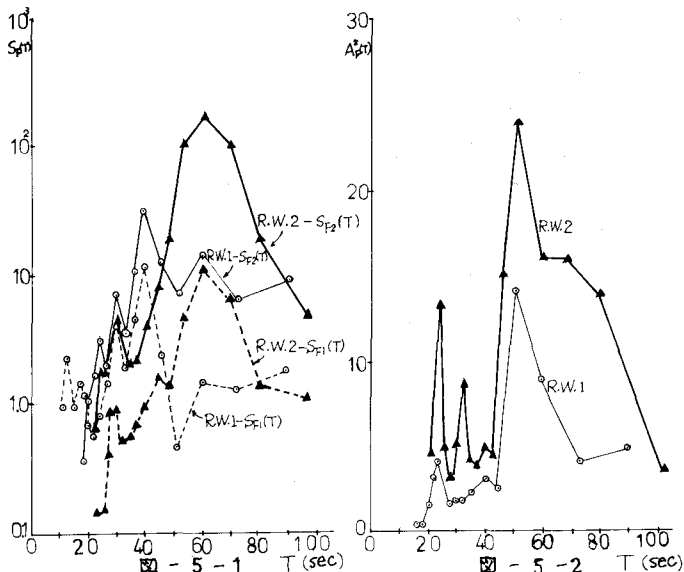
A-D変換し、T.S.S.を用いNEAC 2230-500による計算を行なった。不規則波のうち卓越周期の小さい方をR.W.1、大きい方をR.W.2とし、サンプリング数はR.W.1が240、R.W.2が320である。図-5-1によれば、R.W.1は $T = 40 \text{ sec}$ (6.7 min) R.W.2は $T = 60 \text{ sec}$ (10 min) にピーク値を持つ入射波であるが、湾奥では同じ周期にピークを持ち、しかし増幅度は著しくなる。図-5-2に $A_F^2(T)$ の計算値を求めた。そうすると、確かに湾の基本振動周期 $T = 50 \text{ sec}$ (8.3 min) 付近にピークが認められる。ただこの図から知られる限りでは、湾の基本振動周期に近い卓越周期を持つ入射波から求められた増幅度の方が大きい。これは非線形の性質が卓越することを示す。

ii) C-2 湾中が減少した場合について図-5と同様 図-6-1に入射波、湾奥波のフーリエパワースペクトル 図-6-2に

$A_F^2(T)$ を与えた。図-6-2と図-5-2を比較すると湾中の変化に伴ってR.W.1はそのピーク値が減少し $T = 20 \text{ sec}$ (3.3 min) へ $T = 70 \text{ sec}$ (1.6 min) の間ではほぼ一緒となっている。C-1に対して波高増幅率は1.2倍位高まる。

b. パワースペクトル

i) C-1 R.W.2に対して入射波、湾奥波のパワースペクトル $S_1(f)$ 、 $S_2(f)$ を求めたのが 図-7-1である。図-7-2に湾のパワー増幅度 $A^2(f)$ を与えた。計算



は3 sec 間隔, サ-プリング数 $S(f)$
400 自由度16であり, $A(f)$ と

同様T.S.S.と使用して, これより
湾に対するレスポンスが明確とな

っている。図-7-2より $f =$

0.017 cycle ($T = 0.0 \text{ sec}$)と $f =$

0.04 cycle ($T = 2.5 \text{ sec}$)の近

にピークを持つ。この二つの

ピークは第一モードと第二モードの

振動周波数に相当している。

$S_2(f)$ と $A^2(f)$ と比較すると第二モードの

付近のピークはすれていく。

これは湾のパワースペクトルと

湾のパワースペクトルを明確に区別す

べざんことを示している。

ii) C-2 湾中が減少した場合

について図-7と同様 図-8-1

に $S_1(f)$, $S_2(f)$, 図-8-2に

$A^2(f)$ を示した。 $A^2(f)$ をC-1と比

較するとピーク値は2倍以上とな

っており波高増幅率は1.5倍位

としよう。C-1に対し $f/f_0 = 1$

に近ずき、湾形変化に伴う湾口

補正値が小さくなることを示して

いる。

6. 結 語

自然海岸における湾において、

正弦波から波高増幅率、不規則波

よりフーリエパワースペクトル、パワースペクトルを求めて解析した結果、振動特性がみられ、それは矩形湾と近似して求められた振動周期と一致する。湾中の減少に伴う波高増幅率の変化は1.2~1.5倍となる。最後に、極めて熱心に実験を実施された東北大学学生 高木芳夫君、真野 明君、東北工業大学学生 佐藤利夫君、佐藤義人君、東北学院大学学生 武藤 茂君に感謝致します。尚本研究は昭和46年度文部省特定研究「津波の浅海域での特性に関する総合的研究」(代表者、東京大学堀川哲司教授)に費用の一部の助成をうけた。

よりフーリエパワースペクトル、パワースペクトルを求めて解析した結果、振動特性がみられ、それは矩形湾と近似して求められた振動周期と一致する。湾中の減少に伴う波高増幅率の変化は1.2~1.5倍となる。最後に、極めて熱心に実験を実施された東北大学学生 高木芳夫君、真野 明君、東北工業大学学生 佐藤利夫君、佐藤義人君、東北学院大学学生 武藤 茂君に感謝致します。尚本研究は昭和46年度文部省特定研究「津波の浅海域での特性に関する総合的研究」(代表者、東京大学堀川哲司教授)に費用の一部の助成をうけた。

よりフーリエパワースペクトル、パワースペクトルを求めて解析した結果、振動特性がみられ、それは矩形湾と近似して求められた振動周期と一致する。湾中の減少に伴う波高増幅率の変化は1.2~1.5倍となる。最後に、極めて熱心に実験を実施された東北大学学生 高木芳夫君、真野 明君、東北工業大学学生 佐藤利夫君、佐藤義人君、東北学院大学学生 武藤 茂君に感謝致します。尚本研究は昭和46年度文部省特定研究「津波の浅海域での特性に関する総合的研究」(代表者、東京大学堀川哲司教授)に費用の一部の助成をうけた。

よりフーリエパワースペクトル、パワースペクトルを求めて解析した結果、振動特性がみられ、それは矩形湾と近似して求められた振動周期と一致する。湾中の減少に伴う波高増幅率の変化は1.2~1.5倍となる。最後に、極めて熱心に実験を実施された東北大学学生 高木芳夫君、真野 明君、東北工業大学学生 佐藤利夫君、佐藤義人君、東北学院大学学生 武藤 茂君に感謝致します。尚本研究は昭和46年度文部省特定研究「津波の浅海域での特性に関する総合的研究」(代表者、東京大学堀川哲司教授)に費用の一部の助成をうけた。

よりフーリエパワースペクトル、パワースペクトルを求めて解析した結果、振動特性がみられ、それは矩形湾と近似して求められた振動周期と一致する。湾中の減少に伴う波高増幅率の変化は1.2~1.5倍となる。最後に、極めて熱心に実験を実施された東北大学学生 高木芳夫君、真野 明君、東北工業大学学生 佐藤利夫君、佐藤義人君、東北学院大学学生 武藤 茂君に感謝致します。尚本研究は昭和46年度文部省特定研究「津波の浅海域での特性に関する総合的研究」(代表者、東京大学堀川哲司教授)に費用の一部の助成をうけた。

よりフーリエパワースペクトル、パワースペクトルを求めて解析した結果、振動特性がみられ、それは矩形湾と近似して求められた振動周期と一致する。湾中の減少に伴う波高増幅率の変化は1.2~1.5倍となる。最後に、極めて熱心に実験を実施された東北大学学生 高木芳夫君、真野 明君、東北工業大学学生 佐藤利夫君、佐藤義人君、東北学院大学学生 武藤 茂君に感謝致します。尚本研究は昭和46年度文部省特定研究「津波の浅海域での特性に関する総合的研究」(代表者、東京大学堀川哲司教授)に費用の一部の助成をうけた。

よりフーリエパワースペクトル、パワースペクトルを求めて解析した結果、振動特性がみられ、それは矩形湾と近似して求められた振動周期と一致する。湾中の減少に伴う波高増幅率の変化は1.2~1.5倍となる。最後に、極めて熱心に実験を実施された東北大学学生 高木芳夫君、真野 明君、東北工業大学学生 佐藤利夫君、佐藤義人君、東北学院大学学生 武藤 茂君に感謝致します。尚本研究は昭和46年度文部省特定研究「津波の浅海域での特性に関する総合的研究」(代表者、東京大学堀川哲司教授)に費用の一部の助成をうけた。

よりフーリエパワースペクトル、パワースペクトルを求めて解析した結果、振動特性がみられ、それは矩形湾と近似して求められた振動周期と一致する。湾中の減少に伴う波高増幅率の変化は1.2~1.5倍となる。最後に、極めて熱心に実験を実施された東北大学学生 高木芳夫君、真野 明君、東北工業大学学生 佐藤利夫君、佐藤義人君、東北学院大学学生 武藤 茂君に感謝致します。尚本研究は昭和46年度文部省特定研究「津波の浅海域での特性に関する総合的研究」(代表者、東京大学堀川哲司教授)に費用の一部の助成をうけた。

よりフーリエパワースペクトル、パワースペクトルを求めて解析した結果、振動特性がみられ、それは矩形湾と近似して求められた振動周期と一致する。湾中の減少に伴う波高増幅率の変化は1.2~1.5倍となる。最後に、極めて熱心に実験を実施された東北大学学生 高木芳夫君、真野 明君、東北工業大学学生 佐藤利夫君、佐藤義人君、東北学院大学学生 武藤 茂君に感謝致します。尚本研究は昭和46年度文部省特定研究「津波の浅海域での特性に関する総合的研究」(代表者、東京大学堀川哲司教授)に費用の一部の助成をうけた。

よりフーリエパワースペクトル、パワースペクトルを求めて解析した結果、振動特性がみられ、それは矩形湾と近似して求められた振動周期と一致する。湾中の減少に伴う波高増幅率の変化は1.2~1.5倍となる。最後に、極めて熱心に実験を実施された東北大学学生 高木芳夫君、真野 明君、東北工業大学学生 佐藤利夫君、佐藤義人君、東北学院大学学生 武藤 茂君に感謝致します。尚本研究は昭和46年度文部省特定研究「津波の浅海域での特性に関する総合的研究」(代表者、東京大学堀川哲司教授)に費用の一部の助成をうけた。

よりフーリエパワースペクトル、パワースペクトルを求めて解析した結果、振動特性がみられ、それは矩形湾と近似して求められた振動周期と一致する。湾中の減少に伴う波高増幅率の変化は1.2~1.5倍となる。最後に、極めて熱心に実験を実施された東北大学学生 高木芳夫君、真野 明君、東北工業大学学生 佐藤利夫君、佐藤義人君、東北学院大学学生 武藤 茂君に感謝致します。尚本研究は昭和46年度文部省特定研究「津波の浅海域での特性に関する総合的研究」(代表者、東京大学堀川哲司教授)に費用の一部の助成をうけた。

よりフーリエパワースペクトル、パワースペクトルを求めて解析した結果、振動特性がみられ、それは矩形湾と近似して求められた振動周期と一致する。湾中の減少に伴う波高増幅率の変化は1.2~1.5倍となる。最後に、極めて熱心に実験を実施された東北大学学生 高木芳夫君、真野 明君、東北工業大学学生 佐藤利夫君、佐藤義人君、東北学院大学学生 武藤 茂君に感謝致します。尚本研究は昭和46年度文部省特定研究「津波の浅海域での特性に関する総合的研究」(代表者、東京大学堀川哲司教授)に費用の一部の助成をうけた。

よりフーリエパワースペクトル、パワースペクトルを求めて解析した結果、振動特性がみられ、それは矩形湾と近似して求められた振動周期と一致する。湾中の減少に伴う波高増幅率の変化は1.2~1.5倍となる。最後に、極めて熱心に実験を実施された東北大学学生 高木芳夫君、真野 明君、東北工業大学学生 佐藤利夫君、佐藤義人君、東北学院大学学生 武藤 茂君に感謝致します。尚本研究は昭和46年度文部省特定研究「津波の浅海域での特性に関する総合的研究」(代表者、東京大学堀川哲司教授)に費用の一部の助成をうけた。

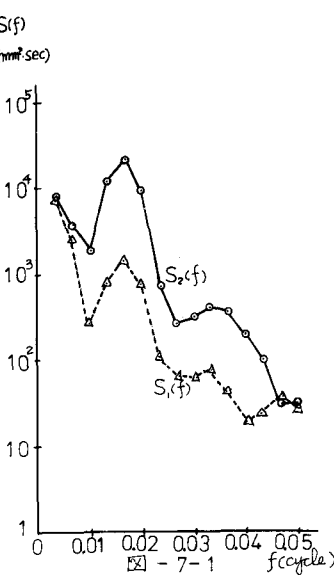


図-7-1

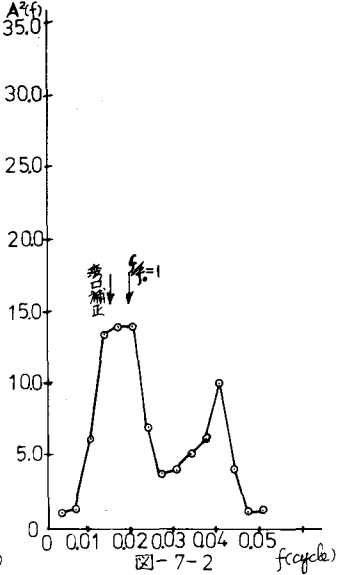


図-7-2

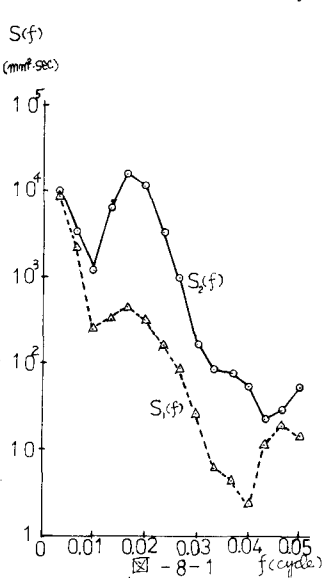


図-8-1

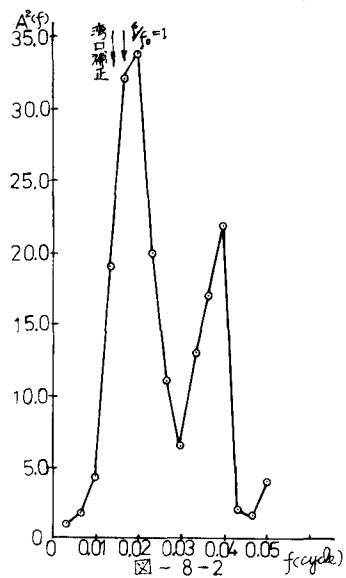


図-8-2