

2 次元津波遡上数値モデルの水理実験による検討

岩崎敏夫*・真野 明**・西宮宣昭***

1. 緒 言

津波による災害やそれに対する防災の問題は、津波の陸上における遡上を解析することによりその解決のいとぐちを得ることが出来ると考えられる。これに対する 1 次元的な理論および数値解析はすでにいくつかの優れた方法が提案されている。また 2 次元的な数値解析法もいくつか発表されており実際の地形に対して適用されている段階である。しかしこれら数値モデルの妥当性の検証にあたっては、対象とする水域の入出力と水域内の流体の物理的性質を正確に把握することが必要であり、水理実験との比較が重要な因子となる。

筆者らは釜石・両石両湾を含む水域を大型平面水槽内に模擬し、2 次元数値解析の妥当性を検証してきた。しかしこの解析では汀線を鉛直壁としていたため、陸上遡上の現象は問題点として残されていた。その後の研究でオイラー座標を用いた遡上の数値解析法²⁾を提案しているが、これに対する検討は首藤・後藤により 1 次元の場合につき首藤理論との比較によってなされている³⁾。そこで今回は、この数値モデルを大型平面水槽による 2 次元遡上実験と比較検討した。

2. 水理実験概要

水理実験を数値モデルと比較するためには、沖側境界条件を精度良く決めることが前提となる。本実験で用いた造波装置⁴⁾では模型水槽（長さ 53 m、内幅 14.8 m、高さ 0.9 m）と低水槽を結ぶ管網系の循環流の流量を変化させて造波を行っているため、装置吐出口付近では、この循環流の影響が残る複雑な流況を呈している。この付近の流速場を測定することにより、流れの影響が小さくなる位置として吐出口から 6.94 m 離れた位置を選んだ。さらに造波された波は、水槽横方向に勾配を有している⁵⁾ので、図-1 の B1~B4 で示す位置に波高計を 4 台並べて水位の計測を行ない、これを沖側境界条件とした。

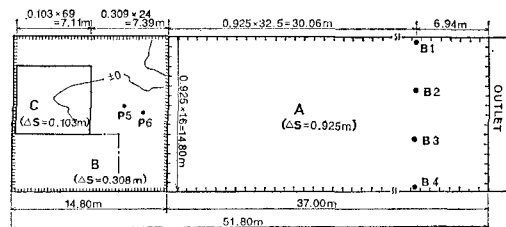


図-1 対象領域と測点

地形は、現在釜石湾・両石湾の鉛直縮尺 1/120、水平縮尺 1/600 の模型が設置されているが、遡上面を簡単にするため、水位を下げ T.P. -44 m を静水位とする假想の地形とした。沖側水深は 46.3 cm である。また釜石湾は図-1 の一点鎖線に示す位置に鉛直壁を設けて仕切り、対象水域からはずした。

計測は、前述の沖側境界条件のための波形 4 点測定の他に、図-1 の P5, P6, 図-2 の P1~P4, Q1~Q3

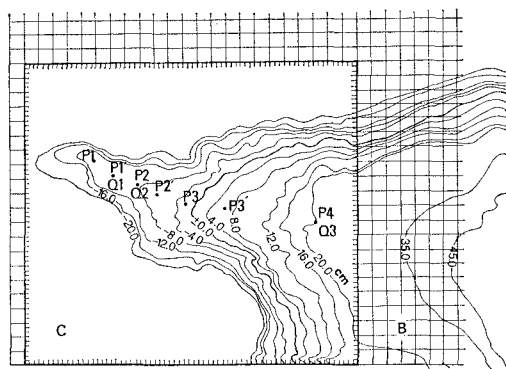


図-2 地形と測点

に測点を設け、抵抗線式波高計、超小型可逆プロペラ流速計による測定を行った。さらに波先端位置の時々刻々の変化を測定するため、模型上に 10 cm 間隔の糸を張り、上からモータードライブ付カメラによる 0.4 秒間隔の写真撮映を行った。

造波装置の入力波形は、いずれも引波から始まる。周期 $T=10$ 秒、15 秒の規則波と、昭和 8 年三陸津波を模擬した不規則波を用い、3 ケースの実験を行った。

* 正会員 工博 東北大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工博 東北大学講師 工学部土木工学科

*** 正会員 工修 国際協力事業団

3. 数値モデル概要

数値モデルは水理実験を模擬するものとし、沖側一様水深域(領域A)を $\Delta s=0.925$ m, 中間域(領域B)を $\Delta s=0.308$ m, 湾内(領域C)を $\Delta s=0.103$ mの差分格子で表現した(図-1 参照)。

支配方程式は、非線型長波の運動および連続式を用い、領域A, Bでは移流項を無視した。さらに底面摩擦項は全域で無視している。

沖側境界条件は、前述の水理実験で得られた水位を、A-D変換し、これから横方向16格子上の値を二次内挿で求め、これらを強制入力水位として与えた。

波先端の条件は筆者らの方法⁴⁾を用いた。

4. 結果と考察

図-3は、周期10秒の沖側境界波形を示したものである。B1~B4の波形を比べると、位相、形とも少しずつ異なっており、横方向の分布が無視出来ないことがわかる。これを入力した場合の、湾内および陸上遡上面上での水位経時変化の比較を図-4に示す。図中破線が数値モデル、実線が水理実験の結果である。汀線付近から沖側のP2', P3, P5, P6では両者は10%以内の精度で一致しており、沖側境界条件と数値モデルの妥当性が確かめられる。さらに陸奥に入ったP2~P1では、数値

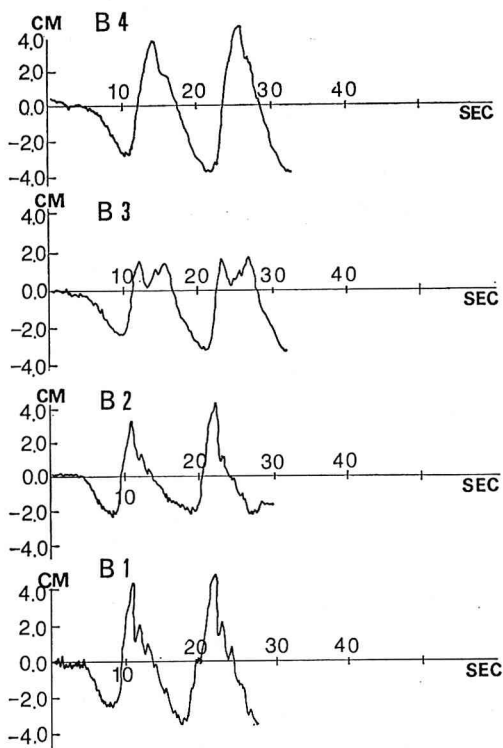


図-3 沖側境界波形(周期10秒)

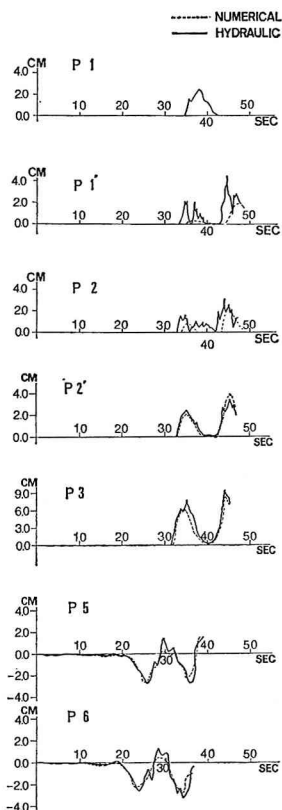


図-4 水位変化の比較(周期10秒)

モデルの結果が水理実験に比べて小さくなっており、その差は陸奥に進むに従って拡大する。またP1', P2の水理実験の波形を見ると第1波が2つに分れている。これは写真-1の矢印で示す所に現れている海向段波によるものであり、この段波は地形急縮部で反射した波が発達したものである。一方数値モデルでは、このような段



写真-1 海向段波(周期10秒, 35.4秒後)

波は表現されていず、波形も一つのなだらかな曲線となっている。差分格子間隔は写真に写っている格子間隔と概略同じであり、このような段波を表現するためには段波の長さからみて現在の 1/5 程度の細かい格子が必要であらう。

図-5 には、波先端位置の経時変化の比較を示した。図中の数値は、造波開始時からの経過時刻を表わしており、図-4 の時刻と対応している。汀線付近の 30.0～31.8 秒では両者は比較的良く一致している。しかし、図-4 で述べたと同様に、陸奥に進むに従って両者の差

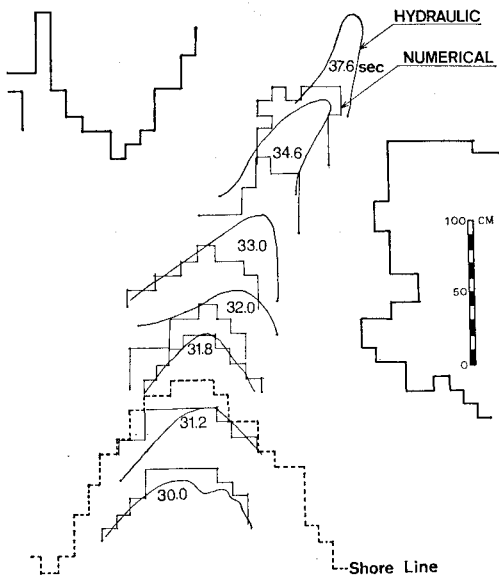


図-5 波先端位置の比較 (周期 10 秒)

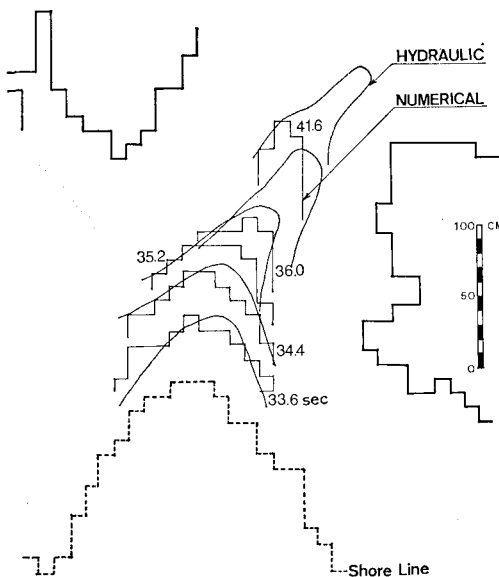


図-6 波先端位置の比較 (周期 15 秒)

は拡大し、数値モデルの遡上速度が遅くなってきていることが読みとれる。最大遡上速度は汀線付近で現れ 1 m/s に達する。

図-6 には、周期 15 秒の場合を示した。周期 10 秒の場合に比べて、数値モデルと水利実験の差異は小さくなっている。

図-7 には昭和 8 年三陸津波を模擬した不規則波の沖側境界波形を示した。この波の第 1 波は本実験ケースの中で最も長い周期を有している。図-8 には水位および

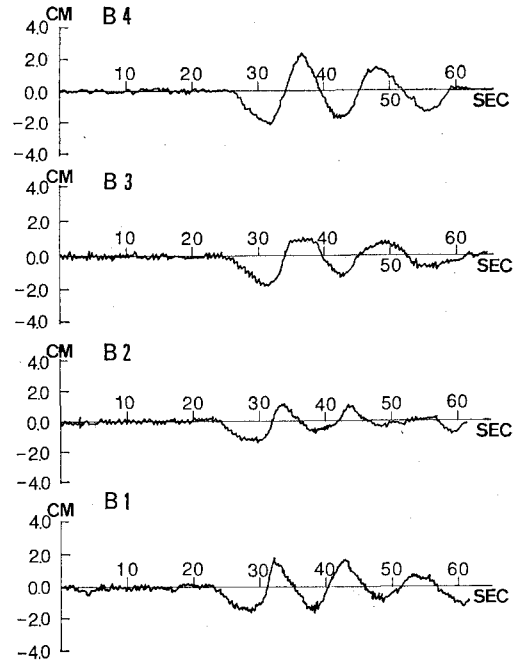


図-7 沖側境界波形 (不規則波)

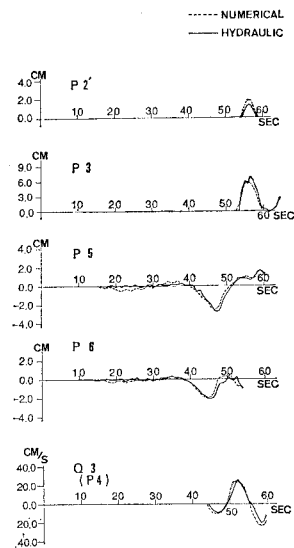


図-8 水位・流速変化の比較 (不規則波)

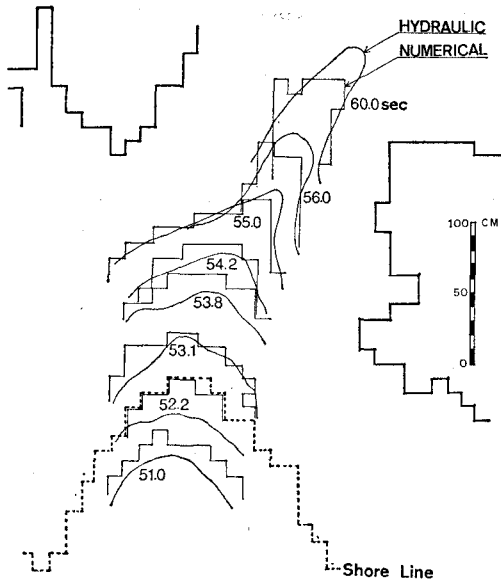


図-9 波先端位置の比較 (不規則波)

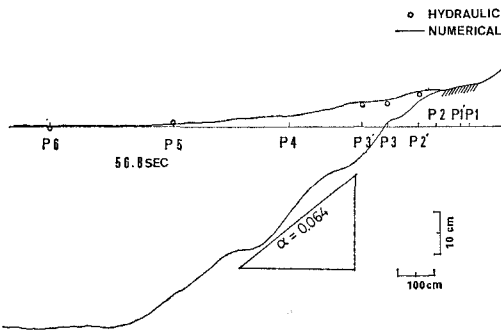


図-10 空間波形の比較 (不規則波)

流速の経時変化の比較を示したが、数値モデルと水理実験の結果はかなり良く一致しており、陸奥での差異も小さい。また、波先端の経時変化を示した図-9を見ても、両者はほとんど一致している。図-10には、造波開始後56.8秒における空間波形の比較を示した。両者とも、地形勾配に比べてかなり小さな勾配で、水位が陸奥に向かって増加している様子がわかる。

以上3つの波についての結果を示してきたが、数値モデルと水理実験の差の大小は、入射波の周期に大きく依存していることがわかる。不規則波をも含めた実験で周期をどの様に決めるかについては問題があるが、今回解析した第1波の押波過程で、最陸奥部の遡上高 R に着目すれば、これに影響を与える入射波の周期に関する特性値としては押波継続時間をとるのが妥当であろう。沖側境界波形の中から、B4を代表波形として選び第1波の波谷から波峰までの経過時間の2倍を特性周期 T_0 と定義した。各 T_0 を表-1に示す。 T_0 と T が異なるのは波形が歪んでいるためである。

表-1 数値モデルの精度

実験ケース	$T=10$ 秒	$T=15$ 秒	不規則波
T_0 (秒)	6	8	10
$\kappa = \Delta s / \alpha g T_0^2$	4.6×10^{-3}	2.6×10^{-3}	1.6×10^{-3}
R_{N1}/R_{H1}	0.75	0.85	0.92

緒言でも述べたように、筆者らの数値モデルに関しては、首藤・後藤が1次元の場合の遡上高数値解 R_{N1} と理論解 R_{T1} の比を、斜面勾配 α 、差分格子間隔 Δs の影響をもとり入れた無次元パラメータ $\kappa = \Delta s / \alpha g T_0^2$ で評価している。その結果の主なものを図-11に直線で示

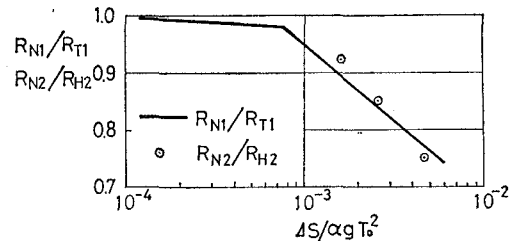


図-11 数値モデルの精度

した。これと比較のため、本水理実験の平均的な海底勾配として図-10に示す $\alpha = 0.064$ を用い、前述の T_0 を使って κ を求めた(表-1)。また R_{N1}/R_{T1} に対応するものとして、本2次元数値モデルの遡上高と水理実験の遡上高の比 R_{N2}/R_{H2} を求め図-11に丸印で示した。これらは1次元の結果と良く近似しており、水理実験と数値モデルの差は、1次元解析で示された数値誤差が主要因であることがわかる。また本数値モデルで無視した底面摩擦の影響はこの数値誤差に比べて小さいといえる。

5. 結 言

筆者らの提案した数値モデルの妥当性を水理実験との比較により検討した。本数値モデルは周期が短くなるに従って誤差が大きくなるが、首藤・後藤のパラメータ κ はその場合 Δs を小さくすれば良いということを示しており、全体的に妥当なモデルであるといえよう。しかし局所的に見れば、段波の発生等流況は複雑でありこれらの現象を表現出来るモデルの改良は今後の課題としたい。

最後に本実験の遂行およびデータ整理にあたり、東北大学大学院の荒井唯君、工学部4年の工藤将貴君(現在仙台市)の熱心な協力を得た。また本研究は昭和55年度文部省自然災害科学特別研究(研究代表者 東京大学堀川清司教授)に研究費用の一部の補助をうけた。ここに記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 岩崎敏夫・真野 明・前原隆生：釜石・両石両湾を含む水域における津波の挙動に関する研究，第 23 回海岸工学講演会論文集，1976.
 - 2) 岩崎敏夫・真野 明：オイラー座標による 2 次元津波遡上の数値解析，第 26 回海岸工学講演会論文集，1979.
 - 3) 後藤智明・首藤伸夫：各種津波遡上計算法と波先端条件の比較，第 27 回海岸工学講演会論文集，1980.
 - 4) 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.
-