

側方から流入する運動量によって発生する波動の運動特性に関する研究

建設工学過程 大久保 秀和

指導教官 細山田 得三

1. はじめに

津波は、一般に海域の鉛直方向の地盤変位によって発生する。現在、津波を発生させるモデルとしては地震断層モデルから計算される海底地盤の鉛直地盤変位がそのまま海面の変動量になると仮定して計算することが多い。この地盤変位を計算する地震断層モデルは、断層運動の第1近似モデルでありさらに地盤の変位がそのまま海面に与えられることを仮定している。

一方、地滑り及びそれに伴う土石流によっても津波は発生する。これは、側方からの運動量の流入によって水表面が変動するために生じるものである。土石流などの流入によって発生する津波は、通常のような断層運動により引き起こされる津波に比べ頻度は低いものの、歴史的にみてもその規模・被害とともに大きな事例がある。

1792年(寛政4年)5月21日眉山崩壊によって発生した津波は有明海を伝播し、対岸の肥後・天草を襲い15,000名以上の死者を出した。

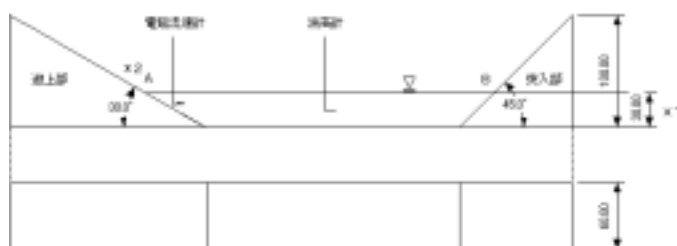
しかし、側方からの運動量の流入によって発生する津波の性質は、断層運動に比べて詳細な検討が少なく、未だ、津波発生の力学には不明な点が多い。

本研究では、水槽実験で、土砂の代わりに角度の異なる二つの木製のモデルを使い、側方から流入する運動量によって、どのように波が発生し、どのように対岸の斜面を遡上するかを、実験結果と数値シミュレーションによって比較することを目的とする。

2. 実験概要

実験は、幅1m、長さ15mの2次元造波水路を使用した。側方から流入する運動量を発生させるために三角柱の模型とそれを滑落させるための斜面およびその波の遡上部をコンビネーションパネルで作成し、設置した(図1~図3参照)。

測定方法として、この水槽は側面がガラス張りになっているので、ビデオカメラを用いた目視による観測と計測器を使ったデータによる観測の二つの方法で観測する。実験ケースは、モデルの形状を2通りとし、水深と模型の重量をそれぞれ3ケースとし合計で18ケースの実験を行った。



※1 ケースによって水深は変動
※2 水深は実測するが45度角は斜面上に20cmとなるように遡上部を斜めにする

図1 水槽の全体図



図2 模型(45°)

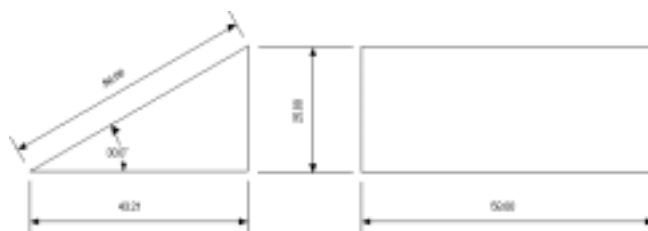


図3 模型(30°) 単位(c m)

・ 実験結果

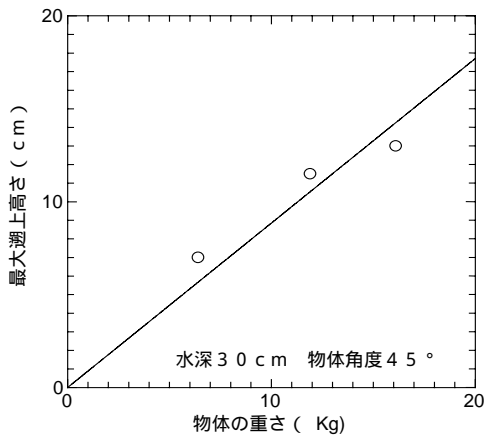


図4 遡上高さの比較 (45°)

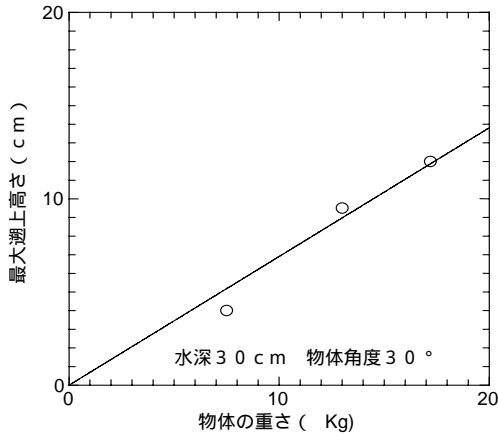


図5 遡上高さの比較 (30°)

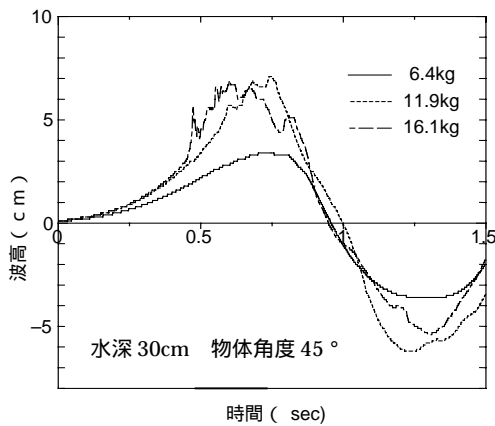


図6 物体重量別の波高の比較 (45°)

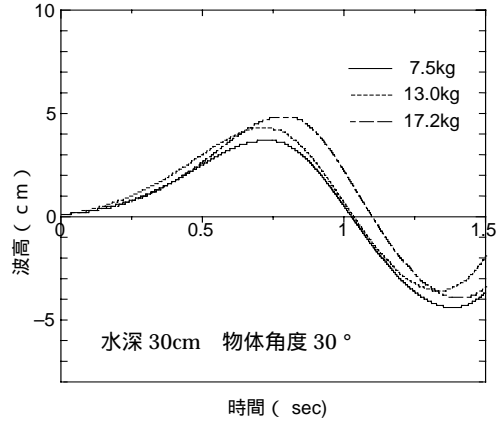


図7 物体別の波高の比較 (30°)

3. 数値シミュレーションの概要

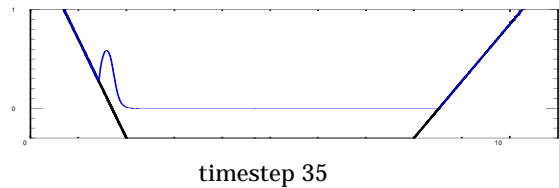
本研究では、分散性の波動方程式であるブシネスク方程式を用いて計算を行った。ブシネスク方程式には、用いる変数や対象とする条件と近似度によって様々な形が提案されているが、最も基本的なものは非線形長波の方程式に分散項をくわえたもので、1次元の波浪伝播に対しては次式で表される。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{h^2}{3} \frac{\partial^3 Q}{\partial t \partial x^2} \quad (2)$$

・ 計算結果

以下の図は、タイムステップごとに計算結果を表したものである。この計算はパラメーターを、水深を 30cm、突入する水塊の角度を 45° として計算を行ったものである。



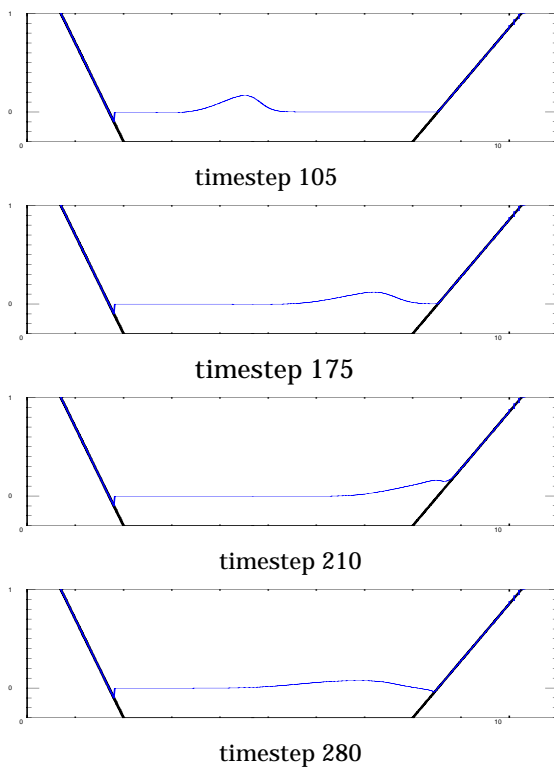


図8 数値計算の結果

4. 考察

4.1 実験結果について

図7、図6より進入する物体の角度によって発生する波の波形は大きく違うということがわかる。水に進入していく物体の角度が 45° のとき、波の頭が乗り出している形になっている。これは、物体が水を正面に押し出しているのでこのような波になるといえる。それに比べ、水に進入していく物体の角度が 30° では、波の頭が乗り出さずに緩やかに波が発生している。これは、物体が水を斜め上方向に押し出しているのでこのような波になるといえる。物体の角度が 45° で重量が軽いとき発生する波は、波の頭が乗り出すような形で発生するが、波形は物体の角度が 30° のときに発生する波の波形と似ている。物体の角度が 30° のときに発生する波は、物体が水の抵抗を受けずに連続的に水の中に入って行くので、波の頭が前に乗り出すことなくゆっくりと波が発生する。

物体の角度が 45° 場合、物体が重くなるほど、波形は急激に上昇し、その後、急激に下降する。また、物体の角度が 30° では、緩やかに上昇し、緩やかに下降していくことがわかる。これより、物体の角度が 30° の場合より物体の角度が 45° の方が、波高が高いということがわかる。そして、波形の上昇・下降の勾配がきつくなり、波形が崩れている。一般に、波は波高が高く水深が浅いほど水底の影響を受けやすく、崩れやすくなる。

これより、波形が崩れているのは水深が浅く、水底の影響を受けているからだと考えられる。

図4、図5より波の最大遡上高さは物体が重くなるにつれて、大体線形に増加する。遡上には波高と波速が大きく関係していからであると考えられる。水深ごとに、物体の角度が 45° の場合と 30° の場合を比べてみると、どの水深でも物体の角度が 45° の場合のほうが 30° の場合よりも最大遡上高さが高くなる。このことから、物体の角度が 45° の場合 30° に比べ波速が早いといえる。

遡上部を比べた場合、それぞれの物体の角度で発生する波の形は違うのに対し、さほど角度による遡上の形の違いは見られない。このことから、遡上は発生する波の形よりも波高と波速に大きく影響されるといえる。

4.2 実験と数値シミュレーションの結果の比較について

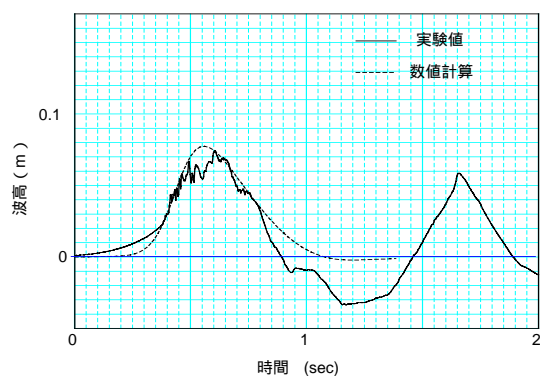


図9 数値計算と実験値の比較

図9からわかるように、数値計算の結果と実験値の結果は、ほぼ同様の波形を示していることがわかる。しかし、完全に一致はしていない。原因として、実験値は波が勢い良く発生し水面系が激しく乱れているのでこのような結果になったと考えられる。

また、ブシネスク方程式を用いた数値計算では、水の粘性を変えると波形が変わることが明らかになった。例えば、動粘性係数を変化させた場合、波の水面系に乱れが生じる。動粘性係数を小さくすれば波形の乱れが大きくなり、一方、大きくすると滑らかな波形となる結果を得た。このような結果が得られた原因としては、ブシネスク方程式に含まれる分散項が強く影響しているのではないかと考えられる。図9の場合では動粘性係数を $0.1\text{m}^2/\text{sec}$ 程度の値で数値計算を行った。その理由としては、水面系が乱れ始める限界の値をとったためである。

したがって、動粘性係数を変化させて数値計算を行うことによって、実験値と同様の波動現象を得ることができた。

5. 結論

本研究では、従来あまり検討されていなかった側方から進入する運動量によって発生する波の実験と数値シミュレーションを行った。その結果、実験より進入する物体の角度が大きく、そして、物体が重くなるにつれて、発生する波の波高は大きくなることが明らかになった。また、発生した波は、水深が浅いと水底の影響を受けやすい。よって、波高が高くなるにつれて波形は崩れていくことが明らかになった。波の遡上では、発生する波の形ではなく、波高と波速によって大きく影響されることがわかった。数値計算では、動粘性係数を変化させて数値計算を行うことによって、実験値と同様の波動現象

を得ることができた。

6. 今後の課題

本計算モデルは、1次元の計算である。今後、この計算を3次元化し実地形への応用を可能にすることと、さまざまなパターンで数値計算を行い計算の有効性を確かなものにする必要がある。

実験では、造波部と遡上部の間の距離が短く、水深も浅かった。また、遡上部のデータが、少し不十分だった。そこで、今後の課題として、実験のスケールを大きくする。また、水中から出ていても計測できる波高計と流速計を使用すれば、有効な実験データが得られると考えられる。

参考文献

- 1) 岸波動 (波・構造物・地盤の相互作用の解析法、土木学会海岸工学委員会 研究現況レビュー小委員会、pp.46-59、pp.72-86、1994
- 2) 972年島原眉山崩壊に伴った津波の数値実験 地震、Vol.28、相田勇 pp.449-460、1975
- 3) 津波発生・伝播の数値モデルの現状と課題 沿岸海洋研究、第36巻、今村文彦・李 昊俊、pp.91-101、1998
- 4) 有明海津波の再現性水理実験、海岸工学論文集、第39巻、富樫宏由・平山康志、谷口祐治、松本慎市、pp.221-225、1992
- 5) 続水理学 丸善出版、本間仁・林泰造、p.97、1980
- 6) 土石流による津波発生モデルの開発 海岸工学論文集、第45巻、松本智祐・橋和正・今村文彦・首藤伸夫、pp.346-350、1998