

II-499 貯水池における波高分散性を考慮した波動解析

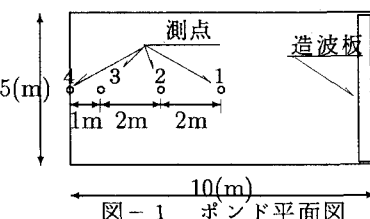
開発土木研究所	正員	村上	泰啓
留明開発建設部	正員	中村	興一
開発土木研究所	正員	清水	康行

1. はじめに

ダム貯水池、湖沼、湾等の閉鎖性水域において、土砂崩壊などによって大規模波が発生し、周辺構造物に悪影響を及ぼしたり、きわめて希にダム堤体から越波した水が下流へ被害を及ぼす場合がある。岸に接近する波は、水深の変化による影響を受けるため、線形の浅水方程式では波高の予測が過小となるといわれている。筆者らは閉鎖性水域において土砂崩落等により発生する長波の波高を予測する手法を開発中であり、ここでは非線形波動方程式である Boussinesq の式を用い、水面に変動が加わった場合に生起する津波(長波)の数値計算による再現を試み、矩形ポンドで発生させた長波との比較を行なってその精度について考察する。

2. 造波実験

物体の落下もしくは衝撃により発生する波の規模は水面に作用する物体の規模と速度に依存すると考えられる。ここでは土砂崩壊などで発生する津波(長波)を対象とし、矩形ポンドにおいて造波実験を行なった。実験に用いた水槽を図-1に示す。造波はポンドの端部に浮かべた厚さ3cm、幅20cm、長さ5mの板材上に急激に荷重を与えて行なった。図-2は測点1,2,3,4における波高の時間変化である。第1波目に着目すると、造波による衝撃で発生した波の波速は $c = 1.09(m/s)$ となる。



3. 数値計算

津波の挙動を計算する手法としてここでは非線形 Boussinesq 方程式を用いて物体の落下を考慮した波動シミュレーションを行なった。実験は2次元水槽で行なったが、水路の片側全体で起波を行ない、しかも測定点は水槽の中央線上で波の伝播方向に設置されていたため、1次元問題として扱って差し支えない。したがってここでは1次元モデルによる数値計算を行なった。(1),(2)式は連続の式、非線形 Boussinesq 運動方程式である[1]。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (uM)}{\partial x} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{h^2}{3} \frac{\partial^3 M}{\partial t \partial x^2} - \frac{\tau_{xb}}{\rho} \quad (2)$$

ここで、 u ; x 方向流速 (m/s)、 H ; 水位 (m)、 h ; 水深 (m)、 $M = uh$; u 方向流量フラックス、 g ; 重力加速度 (m/s^2)、 τ_{xb} ; x 方向河床剪断力 ($t/(ms^2)$)。

運動方程式はクランクニコルソン法による陰解法を用い、連続の式は蛙飛び法による陽解法を用いて解いた。差分格子は水位計算点と流量計算点を $1/2$ メッシュづつずらせた Staggered type を用いた。

計算条件として、計算区間 $10(m)$ 、計算格子間隔 $\Delta x = 5cm$ 、計算時間間隔 $\Delta t = 0.02(sec)$ 、初期水深 $h = 10cm$ を与えた。計算上の初期水面形は造波板の幅 ($20cm$) の水深を初期水深よりも $5cm$ だけ上昇させた。図-3は初期水面から開放された水柱が孤立波を生起させ、波が進行していく状況を2秒毎に表わしたものである。ここで発生した

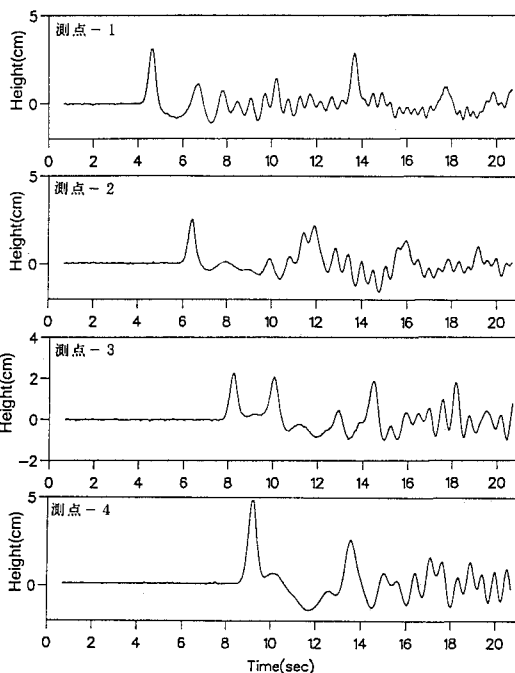


図-2 各測点における波高の時間変化

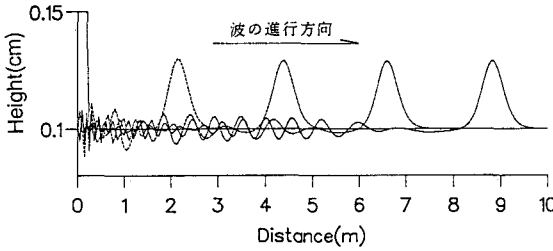


図-3 長波の計算結果

孤立波は、波高が約 3(cm)、波速 $c = 1.10(m/s)$ であり、実験で生じさせた波とはほぼ同一の孤立波が発生していることが分かる。また、図から短周期の波が長周期の波より波速が小さいといった分散性が再現されていることが理解できる。図-4 は実験水槽中央部の測点 1~4 における波高の時間変化と同一位置における計算値を比較したものである。計算による第 1 波の到達時刻、波高、さらに反射してからの到達時刻が実験値とほぼ等しいことが理解できる。次に今回用いた手法を用い、水深が変化した場合の波の変化の計算を行ない、図-5 に 2 秒毎の結果を示す。図の左側から開放された水柱が長波(孤立波)を発生させ、これらの波は水深が浅くなるにつれ波高が高く、また波の背後に分裂した波が発生していることが確認できる。

4. おわりに

筆者らは 1 次元非線形 Boussinesq 方程式を用い、部分的に初期水面形を高めておくといった手法で物体突入時の津波(長波)の伝播計算を試みた。計算値は実験値をほぼ良好に再現しているものと考えられる。さらに、水深が変化した場合の孤立波の非線形な特性も再現可能であることがわかった。しかしながら、落下する土砂量と対応する計算条件(初期水深の与え方)はいまもって明確ではなく、特に、雪崩・泥流・土石流などの流動体の突入に対して、計算上どう対応していくかを今後、実験・解析の両面で検討していく必要がある。最後に、本研究を進めるにあたり、東北大学工学部附属災害制御研究センターの今村博士に貴重な資料の提供を受けた。ここに記して謝意を表するものである。

参考文献

[1] 今村 文彦、富沢 大、首藤 伸夫; 非線形分散波計算と大型水槽実験の比較検討、東北大学工学部津波研究所報告、1990

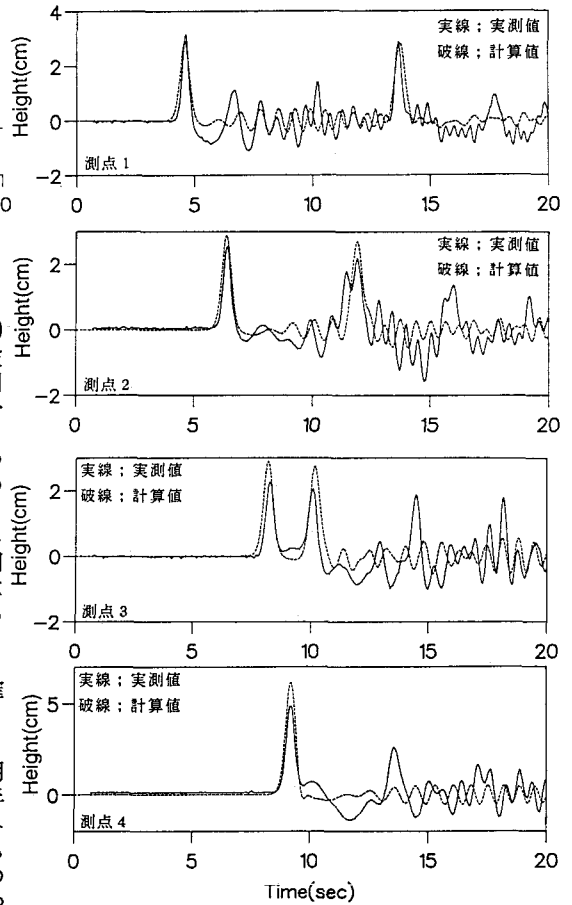


図-4 計算値と実測値との比較

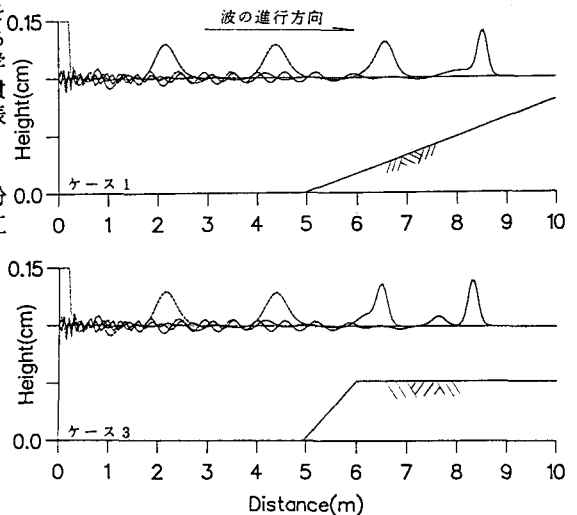


図-5 水深を変化させた場合