

(II-80) 斜面崩壊によって発生する波に関する水理実験

東海大学大学院 学生会員 井上直行
東海大学工学部 学生会員 後藤智明

1. はじめに

貯水池周辺の斜面崩壊によって発生した多量の土砂が貯水池内へ水没し、それによって引き起こされる津波は、ダム本体や下流部にまで被害を及ぼす。1963年、イタリアのバイオントダムで同様の現象が起き、発生した津波は、最大波高が150mに達し、ダム本体を乗り越えて下流部まで流出し、一瞬にして2,125名の人命を奪った。この種の災害に際しては、特にダム貯水池及び下流河川の安全性を検討することが必要である。また、海域での津波についての研究はなされているが、貯水池といった閉水域で発生する津波は研究例が少なく、特性も明確になっていない。本研究では、落下物体によって斜面崩壊を模擬した水理実験と水底変動を考慮した非線形長波理論（浅水理論）を支配方程式とした数値計算の比較を行う。

2. 実験方法

水理実験で使用した実験装置としては、水路床長が6.0m、幅0.6m、高さ0.84m、水深0.3mの貯水池を模擬した水路を用いて、長さ0.45m、幅0.586m、高さ0.26m、重量30.0kgの模型を水中へ没入させ、土砂流入を近似的に再現したものである。実験方法としては、水深を0.3mに固定させ、落下位置を静水面から鉛直方向上向きに2.5cmずつ変化させ、20.0cmまでの実験値を求めている。

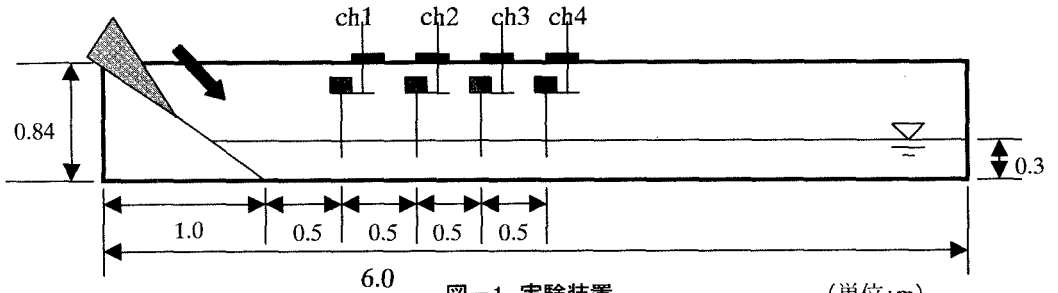


図-1 実験装置

(単位:m)

3. 数値計算

本研究では、従来の津波計算に用いられる積分型の非線形長波理論を用い、移動する落下物体の水底からの高さを水底変動として考慮した支配方程式とする。支配方程式を以下に示す。

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

ここに、 Q は流量フラックス、 η は水位、 D は全水深、 g は重力加速度、 h は静水深である。

計算方法としては、非線形長波理論を支配方程式とし、Leap-frog法により陽的に計算を行う。連続の式の中央差分式は

$$\frac{1}{\Delta t} [\eta_i^{n+1/2} - \eta_i^{n-1/2}] + \frac{1}{\Delta x} [Q_{i+1/2}^n - Q_{i-1/2}^n] = -\frac{1}{\Delta t} [h_i^{n+1/2} - h_i^{n-1/2}] \quad (3)$$

である。ここで、 i, n は差分格子番号であり、 Δt は時間格子間隔、 Δx は空間格子間隔である。なお、 $h_i^{n+1/2}$ は移動する落下物体の水底からの高さを加えることで求められる。運動の式の差分式は

$$\begin{aligned} \frac{1}{\Delta t} [Q_{i+1/2}^{n+1} + Q_{i+1/2}^n] + \frac{1}{\Delta x} \left[\lambda_{11} \frac{(Q_{i+3/2}^n)^2}{D_{i+3/2}^n} + \lambda_{21} \frac{(Q_{i+1/2}^n)^2}{D_{i+1/2}^n} + \lambda_{11} \frac{(Q_{i-1/2}^n)^2}{D_{i-1/2}^n} \right] \\ + gD_{i+1/2}^n \frac{1}{\Delta x} [\eta_{i+1}^{n+1/2} + \eta_i^{n+1/2}] = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

である。ここで、 $Q_{i+1/2}^n \geq 0$ ならば、 $\lambda_{11} = 0, \lambda_{21} = 1, \lambda_{31} = -1$ とし、 $Q_{i+1/2}^n < 0$ ならば、 $\lambda_{11} = 1, \lambda_{21} = -1, \lambda_{31} = 0$ とする。

4. 水理実験結果と数値計算結果の比較

本計算では、落下物体による河床変動を初期値とし、時間格子間隔 $\Delta t = 0.001(s)$ 、空間格子間隔 $\Delta x = 0.01(m)$ で数値計算を行った。水理実験より得られた各波高計での実験結果と数値計算より得られた各波高計の位置での計算結果を比較したものを図-2から図-5に示す。なお、ここで図に示したものは、初期落下位置が静水面でのときである。実験結果より、発生した波は伝播するに従い、波高が低くなり、波長、周期が長くなる。したがって、波数分散性がかかり作用している結果となっている。数値計算では、非線形性による前傾化のため実験値よりも最大波高が高くなり、2波目以降の波が適切に計算できていない。これは、波数分散性の効果を考慮していないためと思われる。

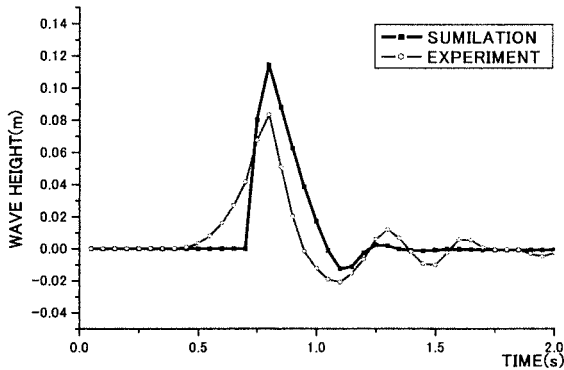


図-2 ch1での比較

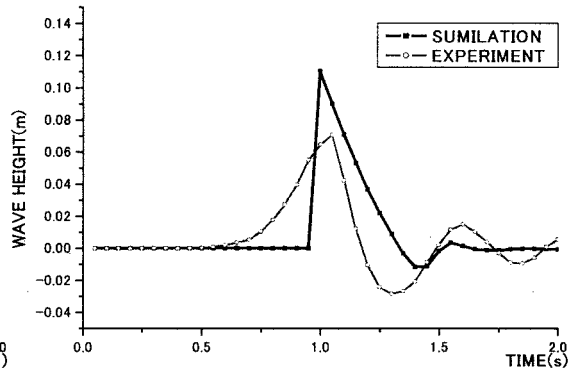


図-3 ch2での比較

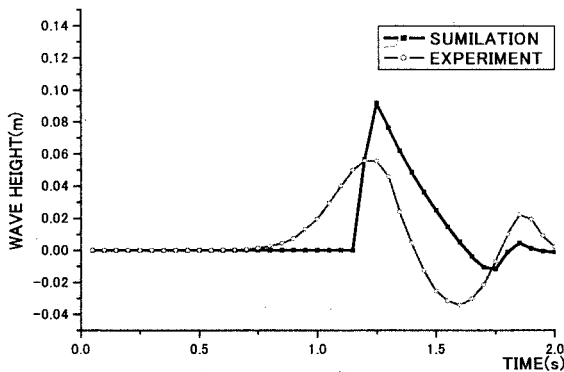


図-4 ch3での比較

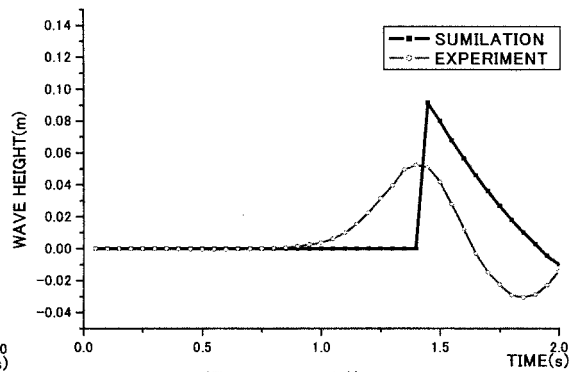


図-5 ch4での比較

5. おわりに

本研究では、非線形長波理論を支配方程式として数値計算を行ったが、最大波高が過大に評価され、2波目以降の波が適切に計算できなかった。今後は、波数分散性を考慮した非線形分散波理論を支配方程式として用い、実験結果と比較していきたい。

謝辞

本研究を実施するにあたり、多大なご助言を頂きました東海大学工学部土木工学科岩瀬浩之技術員、安田浩保氏に深く感謝します。加えて、終始御協力を頂きました東海大学土木工学科4年生の内田信行君、高浦正樹君、柳川和也君には謝意を表します。

参考文献

- 1)道上正規, 貯水池内での大崩壊に伴う水位変動について, 水理講演会論文集, 1984, pp.819-826
- 2)松田信彦, 貯水池における表面波発生の数値解析, 第45回土木学会中国四国支部研究発表会概要集, 1993, pp.230-231
- 3)住谷圭一, 非線形分散波理論による津波数値計算に関する研究, 東海大学大学院1996年度修士論文