

II-50

強い段波の斜面上での二次元的挙動

秋田大学 正員 松富 英夫

1. はじめに 物理・数値実験を通して、津波で形成される強い段波の斜面上での二次元挙動特性を検討する。対象段波の近似解析法も提案する。近似解析法による強い段波と Snell の法則に基づく波の挙動解析を通して、斜面上の強い段波が波と異なった挙動をとることを示す。

2. 物理実験¹⁾ 実験水路を図-1に示す。対象斜面(円錐浅瀬)を

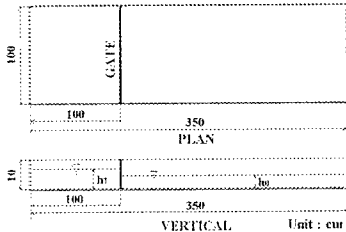
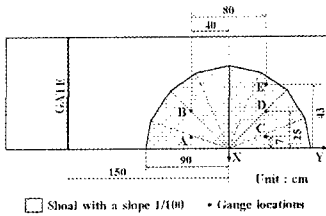


図-1 実験水路



□ Shoal with a slope 1/100 • Gauge locations

図-2 斜面モデル(Conical shoal) B-DとA-Cの段波

表-1 実験の条件と結果

h1 (cm)	h0 (cm)	s	α (°)	ΔHA (cm)	ΔHB (cm)	ΔHC (cm)	ΔHD (cm)	ΔHE (cm)	ΔTE (s)
7	2	0.01	90	2.111	2.068	1.906	1.892	1.765	0.0125
8	2	0.01	90	2.458	2.418	2.196	2.158	2.041	0.0201
9	2	0.01	90	2.777	2.712	2.384	2.376	2.332	0.0279

伝播時間の差を示す。表より、水深の深い方に向かって段波波高が小さくなること、水深の浅い方で段波伝播速度 ξ が大きいことが判る。

3. 数値実験 物理実験の再現計算を試みる。

3.1 基本式 既存の積分した浅水理論を用いる。

3.2 差分スキーム 移流項はUp-wind, 他はLeap-frogスキームの既存のものを用いる。

3.3 初期条件 ゲート近傍ではRitter及びStokerの解を用い, 他では静水とする。

3.4 先端条件 Y方向に水面は水平(外挿法を用いる), Y方向流速は時間のみに依存, を仮定する。

3.5 境界条件 計算領域境界に直な方向の流量は零, 境界最寄りの内外水深点の水深は同じとする。

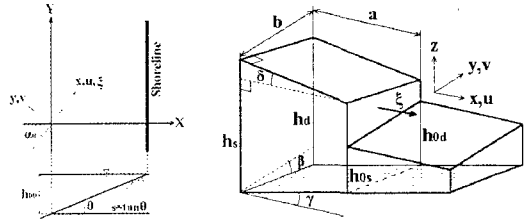


図-3 座標系, 地形, 段波モデルと記号の定義

4. 近似解析法 座標系や記号の定義などを図-3に示す。1)静水圧, 2)段波下流は静水, 3)伝播方向水面勾配 δ は不変, 4)流速は時間のみに依存, 5)段波高分布 $\Delta H(y, t)$ は直線の5つを仮定する。0(a, b)の精度で保存則は次式となる。

$$dV/dt = bh_0 u - b(h_0 - h_{0c})\xi - vV, \quad (1)$$

$$du/dt = -bh_0 u \xi / V + gb \{ (3h_0^2 + V^2/4a^2) - (4h_0^2 - h_0 h_{0c}) \} / 6V - gtan\gamma - abfu \{ v(u^2 + v^2) \} / V \quad (2)$$

$$dv/dt = -bh_0 v \xi / V - gV/ab + gtan\beta - abfv \{ v(u^2 + v^2) \} / V \quad (3)$$

ここで, Vは支配体積, gは重力加速度, fは摩擦係数, 添字 y は微分を示し, 次の記号を導入している。

$$h_c = (h_s + h_0)/2 = h_0 + a(tan\gamma + tan\delta) = V/ab + a(tan\gamma + tan\delta)/2$$

$$h_{0c} = (h_s + h_{0c})/2 = h_0 + btan\beta/2 = h_0 - btan\beta/2$$

$$V_s = a(h_0 - h_c), \quad tan\gamma = scos\alpha, \quad tan\beta = ssin\alpha$$

従属変数は5つで, もう2つ基礎式が必要である。

1つは仮定5)から導かれ, 次式を得る。

$$d(V_s)/dt = uV_s/a + b(-V_s/ab + tan\beta)\xi \quad (4)$$

最後は段波伝播速度に関するもので, 次式である。

$$\xi = v \{ gh_0 (3h_0^2 + V^2/4a^2 - 4h_0^2 + h_0 h_{0c}) / 6h_0 (h_0 - h_{0c}) \} \quad (5)$$

式(1)~(4)を4次のRunge-Kutta法で解く。得られたものを式(5)に代入し, 新しい ξ を求める。

初期のV, V_s, ξ は一般に与えられ, uとvには式(2)と(3)の定常解を用いる。特に断らない限り, 本法での計算条件は a = b = 1 cm, $\Delta t = 0.0001$ s, $\Delta y = 1$ cm, $\alpha_0 = 90^\circ$, $\delta = 0^\circ$, f = 0である(Δy は2計算点間の距離)。

5. 結果と考察

5.1 伝播 近似解析法による段波先端軌跡を図-4に示す。図にはSnellの法則も示してある。

段波と波の軌跡に大きな差が認められる。段波波高分布が伝播方向に影響することも判る。近似解析法の結果と物理実験結果を比較・検討するには, 実

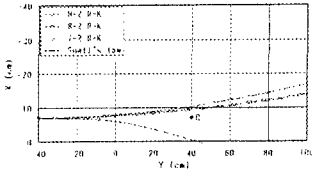


図-4 段波先端の軌跡 (区間A-C)

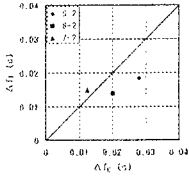


図-5 段波の伝播時間差

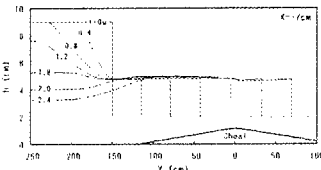


図-6 浅瀬上の段波空間波形

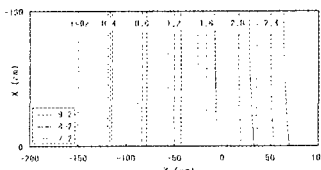


図-7 浅瀬上での段波先端の分布
す。浅瀬頂部を通過した直後辺りで弱跳水が形成され、浅い方で段波伝播速度が大きい。

5.2 段波波高

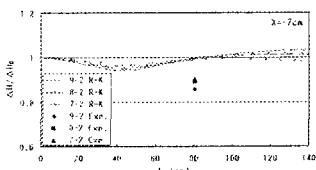


図-8 段波波高増幅率(近似解析法)

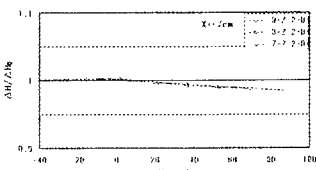


図-9 段波波高増幅率(数値実験) ている。近似解析法と数値実験結果の傾向に差が認められる。後者の傾向は先端条件に起因していると思われる。

図-10 に相対段波波高に関する近似解析法、物理

験値の補正が必要である。本研究では線形補間で実験値の補正を行う。これが測点Eを設けた理由である(図-2参照)。

区間B-DとA-Cの段波伝播時間の差 ΔT の比較を図-5に示す。添字Eは物理実験を、Tは近似解析法を示す。物理実験での測定精度を考慮すれば、両者の一致度は良い。また、浅い方で段波伝播速度が大きいことが判る。

図-6, 7に数値実験の結果を示す。浅瀬頂部を通過した直後辺りで弱跳水が形成され、浅い方で段波伝播速度が大きい。

後者は数値実験結果である。前者では両者間の差が大きい。底面摩擦の考慮の必要性を暗示し

ている。近似解析法と数値実験結果の傾向に差が認められる。後者の傾向は先端条件に起因していると思われる。

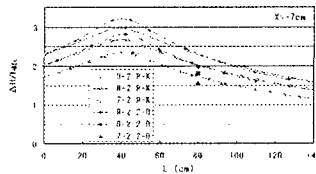
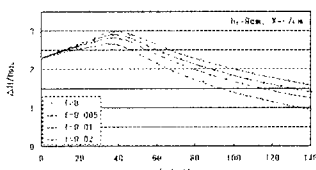
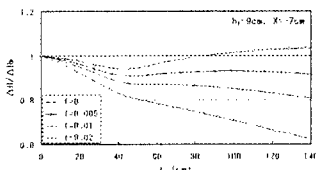
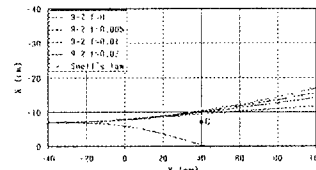


図-10 相対段波波高 (区間A-C)

5.3 底面摩擦の影響

底面摩擦の影響を図-11に



示す。上から順に段波先端の軌跡、段波波高増幅率、相対段波波高、段波伝播速度である。図から、段波伝播方向を含めて、底面摩擦の影響が大きいことが判る。実験での $f(\approx gn^2/h_0^{1/3})$ は0.004程度である。ここで、 n はManningの粗度係数である。この値を採用すると、近似解析法はより良く実験

図-11 底面摩擦の影響(近似解析法) 値を説明する。

5.4 v の影響

段波横断方向流速 v の影響例を図

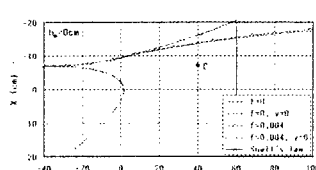
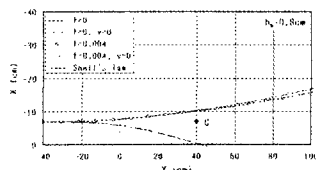


図-12に示す。順に浅瀬頂部水深 $h_0 = 0.8, 0.0$ cmのものである。初期入射段波の諸元は共に同じで、後者は仮想的なものである。図から、多くの状況下で v の影響が

小さいことが推察される。ただし、 h_0 が小さくなるにつれて、 v と f の影響が大きくなることが判る。

文献：1)松富・望月：東北地域災害科学研究, 2001。