

傾斜底泥面に作用する碎波水塊の数値計算と洗掘実験

九州大学大学院 学生員 東 修 正会員 山西博幸
 九州大学大学院 フェロー 楠田哲也

1.はじめに 本研究では、河道断面確保の立場から、河岸に堆積した底泥除去の一手法として、波による洗掘を数値計算と室内実験により検討する。数値計算では、傾斜面上の碎波水塊の挙動を明らかにし、底泥洗掘の重要な外力因子である衝撃碎波圧算定のための検証を行う。また、室内実験を通して傾斜面上に作用する衝撃碎波圧と洗掘土量との関係を定式化することを目的とする。

2.碎波水塊の数値計算 傾斜面に作用する衝撃碎波圧を定量的に評価するための一連の算定手法は、すでに東ら(1998)によって示されている。ただし、これら一連の算定過程にはいくつかの経験式が使用されている。ここでは、傾斜面上に働く衝撃碎波圧を導く際に用いた経験式の妥当性の検証を自由表面を持つ流れで圧力を直接取り扱う数値解法の一つであるSMAC法により行った。

数値実験の条件として、1/5勾配の斜面沖側の一様水深部($h=30\text{cm}$)に室内実験同様の波を与えた。図-1はSMAC法により計算されたマーカー粒子の挙動を示したものである。計算条件はいずれも周期 $T=1.3\text{sec}$ で、図-1(a)は2波目(計算開始後3.0sec)、図-1(b)は3波目(計算開始後4.2sec)の様子を示している。図より、戻り流れの影響から2波目よりも3波目の方が第1突込み点(P.P.1)が沖側へ移動しており、実験開始初期と定常状態とで碎波特性を区別して考える必要があることがわかる。また、酒井ら(1987)の研究などでも指摘されているように、碎波する際に気泡を巻き込んでいる様子がみえる。図-2(a),(b)は、周期 $T=1.5\text{sec}$ での碎波水塊が傾斜面上に突込む様子とこの水塊が跳ね返る様子を示したものである。図-3には図-2と同一条件下での水粒子の等速度線を示す。なお図中にはX方向の速度成分が正か負かによって、沖-岸方向の流れ(正)と岸-沖方向の流れ(負)として色別した。図-3(a)より、碎波水塊が前方水面へ近づくにつれ流速が速くなり、最大値は 185cm/s であった。また、図-3(b)より、第1突込み点での戻り流れは碎波水塊の突込みのため完全に分断されている。なお、跳ね返り水塊の先端部では 180cm/s 程度の流速を示した。

次に数値計算により得られた波形(図-2(a),(b)参照)から、碎波水塊の前方水面への入射角 θ と傾斜面に対する跳ね返り角 γ を求めた。図-4、5は、それぞれ波形勾配 H/L_0 と入射角 θ との関係、波形勾配 H/L_0 と跳ね返り角 γ との関係である。図中の実線はそれぞれ式(1)、(2)により与えられる(東ら, 1998)。

$$\theta = \tan^{-1}(v/C_b) \cdots (1), \quad \gamma = 26.74(H/L_0)^{0.094} \cdots (2)$$

ここに、 v : 碎波水塊の落下速度、 C_b : 碎波速度である。図-4、5より、それぞれの式と数値計算結果との相関は良好であることがわかる。碎波水塊の入射速度 V_1 と跳ね返り速度 V_2 をプロペラ流速計にて測定したところ $V_2 = 0.71V_1$ $\cdots (3)$ の関係が得られた(図-6参照)。図-3より、室内実験と同様の測点において碎波水塊の入射速度 V_1 と跳ね返り速度 V_2

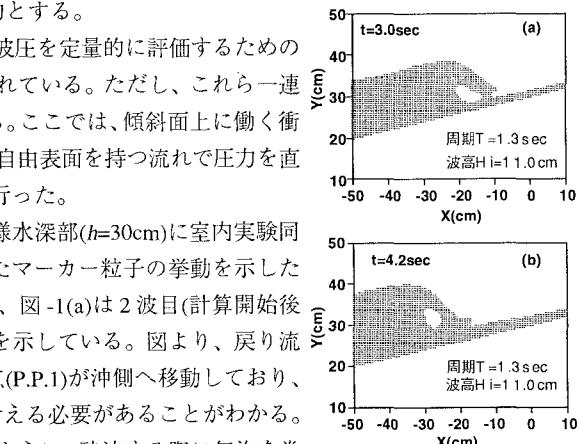


図-1 マーカー粒子の挙動(1)

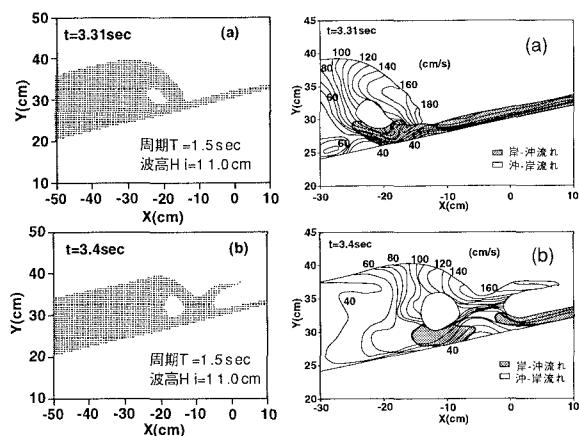
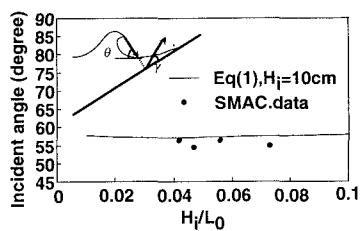
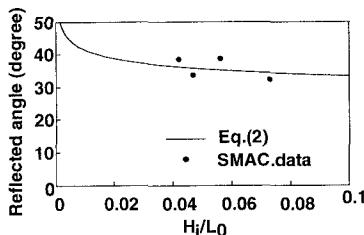
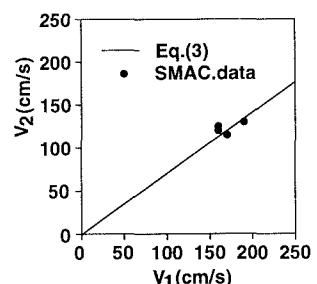


図-2 マーカー粒子の挙動(2)

図-3 等速度線

キーワード 碎波 衝撃碎波圧 底泥 洗掘 剪断強度

連絡先 〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1 TEL(092)642-3241 / FAX(092)642-3322

図-4 θ と H_i/L_0 との関係図-5 γ と H_i/L_0 との関係図-6 V_1 と V_2 との関係

とを求めたものは、式(3)と良好な相関を示した（図-6参照）。

図-7は、SMAC法によって得られた圧力から静水圧分を取り除いた変動圧力の等圧線図である。図より、P.P.1付近で最大圧力が形成され、斜面上での最大値は1.33kPaであった。なお、図-7から求められる斜面上の変動圧力の最大値と同一条件下で衝撃碎波圧算定曲線（図-9）から求めた値はほぼ同じである。また、変動圧力の分布が衝撃直後を境に拡がる様子が見られた。

3. 波による傾斜底泥面の室内洗掘実験 現地にて採取した底泥を不搅乱の状態で造波水路内(全長14m、幅0.5m)の1/5勾配斜面上に厚さ0.1mで敷き詰めた。水路水深は0.3mとして、周期を1.0～2.0sec、波高を数通りに変化させて実験を行った。また、全ての実験において碎波形式は巻き波型碎波であった。図-8は周期T=1.5sec、波高H_i=11cmでの底泥洗掘状況の経時変化である。実験開始5～10分後では、P.P.1付近において洗掘が著しく、その後、比較的急勾配斜面で見られる浜崖のように岸方向に浸食されていく様子からも、第1突込み点における衝撃碎波圧の底泥洗掘に及ぼす影響の重要性が示される。

次に、一連の実験から最大衝撃碎波圧 P_m と底泥洗掘量 W_s との関係を求める。なお、 W_s は水路中央部での横断測量から得られる洗掘深をもとに、水路幅と一緒に変化が生じたものとして洗掘体積を求め、その値に底泥密度 ρ' を乗ずることで底泥洗掘量 W_s とした。ここでは傾斜底泥から泥塊が洗掘・破壊されると、衝撃碎波圧はその泥塊の自重と底泥内部の剪断強度に打ち勝つものと考え、次のような無次元の関係式を得る。

$$(W_s g / A_s) / \tau_s / N = m \{ (P_m / \tau_s) - (P_m / \tau_s)_c \} \quad \cdots (4)$$

ここに、 A_s ：底泥の洗掘面積、 $(P_m / \tau_s)_c$ ：無次元洗掘限界値、 m ：係数、である。式(4)は波の数 N も考慮した無次元底泥洗掘速度を与える式となっている。図-10は、横軸に (P_m / τ_s) をとり、縦軸に $(W_s g / A_s) / \tau_s / N$ をとったものである。 W_s は波の数 N が500波での値とした。各波浪条件におけるP.P.1での衝撃碎波圧 $P_{1,m}$ は室内実験の波が連続的に作用することを考慮して定常時のものを図-9より求めた。底泥の剪断強度 τ_s の算定は東ら(1998)に従った。図より、 (P_m / τ_s) の増加とともに $(W_s g / A_s) / \tau_s / N$ も増加すること、および無次元洗掘限界値 $(P_m / \tau_s)_c$ がわかる。このとき係数 $m=1.5$ 、無次元洗掘限界値 $(P_m / \tau_s)_c=0.36$ となった。

4. おわりに 河岸に堆積した底泥除去の一手法として碎波による効果を室内実験

を通じて検討した。また、衝撃碎波圧と洗掘量との関係式を導き、これが妥当なものであることを示した。なお、本研究は建設省武雄工事事務所での「六角川ガタ土対策現地実験」を契機として行われたものである。また、本研究の一部は平成9～10年度科学研究費補助金奨励研究(A)(山西)より援助を受けた。ここに記して謝意を表す。 [参考文献] 酒井ら(1987): 第34回海講、pp.71-75. 東ら(1998): 平成9年度西部支部講演会、pp.314-315.

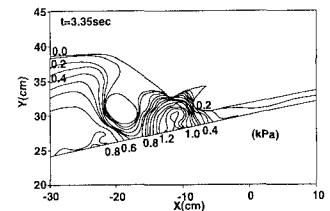


図-7 等圧線

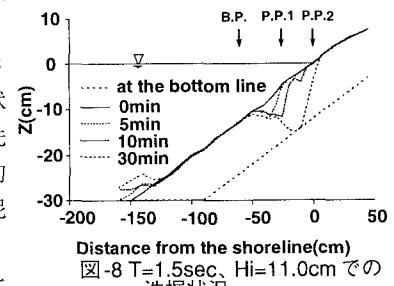
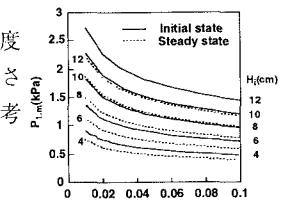
図-8 $T=1.5\text{sec}$ 、 $H_i=11.0\text{cm}$ での洗掘状況

図-9 衝撃碎波圧算定曲線

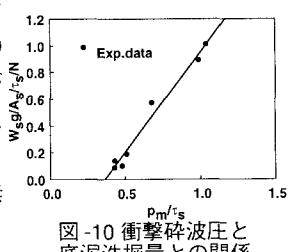


図-10 衝撃碎波圧と底泥洗掘量との関係