

波による河岸堆積底泥の洗掘に関する研究

九州大学大学院 学生員 東 修 正会員 山西 博幸 フェロー 楠田 哲也
福岡大学工学部 正会員 渡辺 亮一

1.はじめに 河岸に堆積した底泥除去の一手法として、波による洗掘が考えられる。本研究では、室内実験を通じて波の特性と衝撃圧との関係及び洗掘土量との関係を求め、現地底泥の強度を考慮した定量的評価を行った。

2.衝撃砕波圧の算定 図-1は傾斜面に作用する衝撃砕波圧を算定するための概略図である。このとき、傾斜面に作用する衝撃砕波圧は運動量方程式をもとに次式から得られる。

$$P_m/\rho g = \alpha(V_1^2/2g)\{\sin^2(\theta+\beta)+K_f^2\sin^2\gamma\} \quad \cdots(1)$$

ここで、 P_m : 衝撃砕波圧、 ρ : 水の密度、 g : 重力加速度、 V_1 : 水塊が放物落水する際の速度、 θ : 前方水面への入射角、 β : 傾斜角、 V_2 : 水塊の跳ね返り速度、 γ : 水塊の跳ね返り角、 α , K_f : 実験により与えられる係数、である。また、 V_1 , θ については、それぞれ次式で示される(東ら, 1997)。

$$V_1=(C_b^2+v^2)^{0.5} \quad \cdots(2), \quad \theta=\tan^{-1}(v/C_b) \quad \cdots(3)$$

3.固定傾斜面を用いた砕波実験 1/5勾配の斜面上に規則波を作用させ、傾斜面上を流れる岸沖流れの流速や衝撃砕波圧をプロベラ流速計や圧力センサーにより実測した。また、砕波特性を水路側面からデジタルビデオカメラによって観察した。

図-2は波形勾配 H/L_0 と跳ね返り角 γ との関係である。なお、 γ はデジタルビデオカメラによるスチル画像から求めた。図中には、実測値と合うように曲線回帰して求めたものを同時に示した。このとき γ は次式で表される。

$$\gamma = 26.74(H/L_0)^{0.094} \quad \cdots(4)$$

図-3は砕波帯内の定常流速分布の一例である。なお、流速データは10周期分の位相平均値を1周期にわたって平均したものである。図よりP.P.1から沖側にかけて常に底泥近傍では冲向きに剪断応力が働くことになるが、実験観察から、底泥の洗掘には直接寄与はしていない。但し、洗掘された泥塊を沖側へ輸送する(東ら, 1997)といった役割は大きいと予想される。また、 $V_2=K_f V_1$ $\cdots(5)$ とするとき(K_f は係数)、 $K_f=0.71$ であった(図-4参照)。さらに、 α は、圧力センサーにて測定した固定斜面上第1突込み点での最大衝撃砕波圧 $P_{1,m}$ と $\rho g(V_1^2/2g)\{\sin^2(\theta+\beta)+K_f^2\sin^2\gamma\}$ との関係から求める。図より実験開始初期では $\alpha=0.80$ 、定常状態では $\alpha=0.74$ であった。これより、任意の波形勾配 H/L_0 と $P_{1,m}$ との関係を求めると、図-5のようになる。図-6(a)は、傾斜面に作用する衝撃砕波圧の分布の一例(周期 $T=1.7$ 秒、入射波高 $H_f=11.5$ cm)である。図より第1及び第2突込み点での衝撃砕波圧 $P_{1,m}$, $P_{2,m}$ が他に比べて大きな値を示していることは明らかであり、 $P_{1,m}$ が $P_{2,m}$ よりも斜面に対し強い衝撃を加えることも容易に見て取れる。また、図-6(b)は図-6(a)と同一条件下で行った洗掘実験の一例であり、衝撃砕波圧分布との相関が見られる。

4.現地底泥の土質力学的特性 実験には、佐賀県六角川の河道側面に堆積した底泥を用いた。現地において室内実験のための底泥を採取すると同時に、ペーン剪断試験を行った。このとき、ペーンの角速度を0.5deg/secになるよう回転させ、最大トルクを測定した。また、その近傍において、含水比

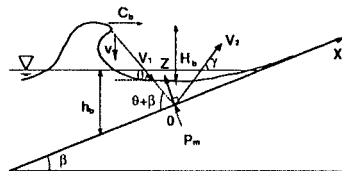


図-1 衝撃砕波圧算定のための模式図

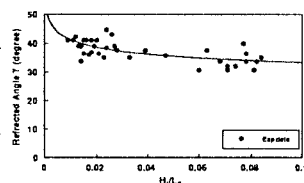


図-2 H/L_0 と γ との関係

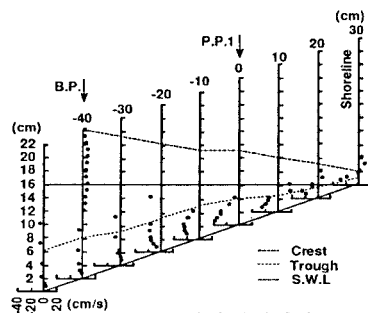


図-3 定常流速分布 ($T=1.5$ sec, $H_f=10.5$ cm)

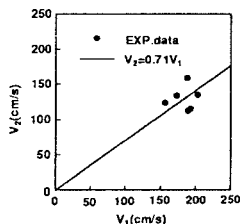


図-4 V_1 と V_3 との関係

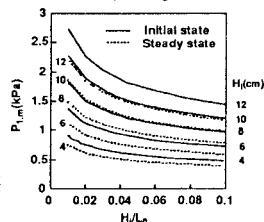


図-5 H/L_0 と $P_{1,m}$ との関係

測定のための底泥を採取した。図-7は現地にて採取した底泥の鉛直含水比分布である。上層部でやや含水比が高いものの、下層部へ行くにしたがい含水比は低下し、140%程度になっている。土粒子密度は2540kg/m³、中央粒径は6μm、強熱減量は深さ方向にほぼ一様で15%程度であった。

図-8は含水比 W とベーン剪断試験から求められる現地底泥の剪断強度 τ_s との関係を示したものである。一般に粘性土の剪断強度 τ_s は粒子間の噛み合わせや圧密といった土粒子間構造による抵抗力(降伏値) τ_y と粘着力 C との和で表される。図中の●は現地不攪乱試料の結果であり、○は攪乱試料の結果である。攪乱・不攪乱試料ともに、含水比 W の増加とともに剪断強度 τ_s は指数関数的に減少する。したがって、これらの結果をもとに τ_s を W の関数として表せば次のようになる。

$$\text{不攪乱試料: } \tau_{s1} = 1.42 \times 10^{10} W^{4.47} \quad \cdots(6)$$

$$\text{攪乱試料: } \tau_{s2} = 4.49 \times 10^9 W^{4.47} \quad \cdots(7)$$

土粒子の内部構造による抵抗力が試料の練り返しによりほとんど消失してしまうものとみなせるならば、次式より内部抵抗力(降伏値) τ_y と粘着力 C との比 R が求められる。

$$R = (\tau_{s1} - \tau_{s2}) / \tau_{s2} = \tau_y / C \quad \cdots(8)$$

式(6)、(7)を式(8)に代入することで $R=2.16$ を得る。すなわち、攪乱試料の C の2倍が不攪乱試料の τ_y となる。

5. 現地底泥を用いた室内洗掘実験 現地にて採取した底泥を不攪乱の状態状態で実験室まで持ち帰り、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。水深は0.3mとした。実験条件を表-1に示す。全ての実験において碎波形式は巻き波型碎波であった。なお、表中各波浪条件における第1突込み点P.P.1での衝撃碎波圧 P_{1m} 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-4より求めた。底泥の剪断強度 τ_s についてはベーン剪断試験結果もしくは式(6)を用いて求めた。

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、水路幅一様に同じ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。

図-9は横軸に P_m をとり、縦軸に $W_s g/A/N$ をとったものである。 W_s は波の数 N が500波程度での値、 A は便宜上、底泥の洗掘面積とした。図より、本研究において行った実験の範囲内では底泥の剪断強度 τ_s の大小に関わらず洗掘速度は一定であり、また洗掘限界値も同一であることがわかる。以上より、最大衝撃碎波圧 P_m と底泥洗掘量 W_s との関係において次式が導ける。

$$(W_s g/A)/N = M(P_m - P_{mc}) \quad \cdots(9)$$

ここに、 A : 衝撃碎波圧 P_m が作用する面積、 P_{mc} : 洗掘限界値、 M : 係数、である。式(9)は、波の数 N も考慮した形で底泥の洗掘量を与える予測式となる。また、このとき $M=2.87$ 、 $P_{mc}=0.96(\text{kPa})$ であった。

6. まとめ 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。これより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、ベーン剪断試験器を本学工学部建設都市工学科地盤工学研究室より借用させていただいた。さらに、本研究の一部は平成9年度科学研究費補助金奨励研究(A)(山西博幸)より援助を受けた。ここに記して謝意を表す。

[参考文献] 東・山西・楠田・渡辺(1997): 「碎波による傾斜底泥面の洗掘に関する基礎的研究」, 第52回年次学術講演会講演概要集Ⅱ, pp160-161

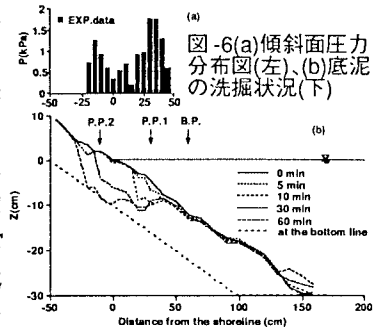


図-6(a)傾斜面圧力分布図(左)、(b)底泥の洗掘状況(下)

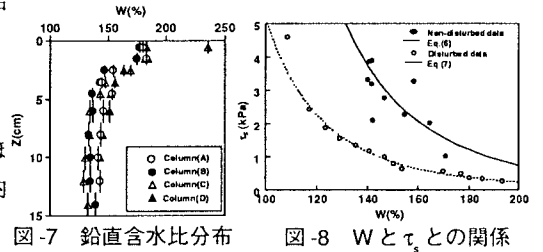


図-7 鉛直含水比分布

図-8 W と τ_s との関係

表-1 実験条件

周期T(sec)	入射波高H(cm)	$\tau_s(\text{kPa})$	$P_{1m}(\text{kPa})$
1.0	9.2	2.30	1.00
1.5	9.6	1.39	1.20
2.0	6.6	2.30	1.04
1.5	12.3	1.39	1.41
1.5	11.3	1.39	1.36
1.5	9.9	2.46	1.25
1.5	8.4	2.30	1.11
1.3	11.2	4.20	1.28
1.5	11.0	1.96	1.33
1.7	11.5	2.54	1.44

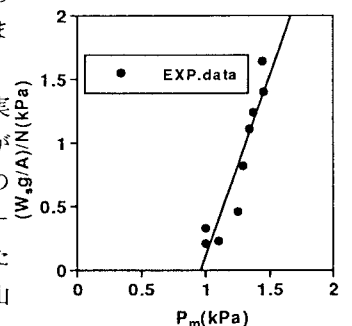


図-9 衝撃碎波圧と底泥洗掘量との関係