

洪水時の流砂機構に関する実験的検討

京都大学工学部 正員 中川 博次 京都大学工学部 正員 村上 正吾

大成建設(株) 正員○大谷 英夫

1. まえがき 従来、洪水時における掃流砂機構は流れを準定常と仮定し、平衡状態の流砂モデルを適用し扱われている。しかし、流量と流速に位相差が現れ、さらに、その非定常効果による流砂の非平衡状態の出現が予想されるため従来のモデルに検討を加えることが期待されている。本研究では流砂機構の等流状態モデルとの相違を実験を通して明らかにし、中川・辻本¹⁾の非平衡流砂量モデルを洪水流下に拡張したモデルを提案する。

2. 実験概要 実験は長さ12m、幅50cmの可変勾配型水路を用い電磁流量バルブによりハイドログラフは良好に再現される。実験条件表に示すとおり波長、勾配を変えたsine波形(case, SIN)、洪水波を想定した単一波形(case, FLD)を行った。なお、添え字bは最低水深時(base flow)を示す。先ず、洪水流の流れを河床全面を固定床としてプロペラ流速計を用いて流速分布を測定した。このとき波高計を流速計と相互に干渉しないように設置し波高を同時に計測した。平均流速は2秒間の移動平均さらに3~4波それをアンサンブル平均した。次に、図1に示す実験装置を用い流砂実験を行った。上図はpick-up rate実験装置で鉛直方向に可動する長さ15cm、幅20cmの移動床を、砂粒頂部を常に一定にするように上昇させ、ゲージをビデオ撮影し解析した。下図は長さ2mの移動床部下流に設置された流砂量測定装置である。水路上部に秤を設置しワイヤーで長さ10cm、幅15cmの流砂量箱と接続した。砂粒の水中重量はデジタル表示されビデオ撮影される。さらに水流の影響を除去するため固定床上において計測された重量を差し引いた。双方、データは5秒ごとに離散化し流速計測同様アンサンブル平均を施した。

3. 実験結果及び考察 まず、せん断応力の評価に必要な摩擦速度 u_* は図2のように比較的流れの非定常性に影響されにくいと考えられる底面近傍付近に対数則を適用することにより算定した。図6は流砂実験の結果である。 u_* 、無次元pick-up rate p_{s*} 、無次元流砂量 q_{B*} はbase flow時の値で規格化されている。水深の変化は dh として与えた。 p_{s*} はどれも u_* の位相によく追従し、水深の位相とはずれが生じているのがわかる。流砂量は周期の短いsine波(SIN)についてはほぼせん断応力に従うが周期が長くなると p_{s*} に比べ減衰が鈍くなる。さらに、単一波(FLD)になるとsine波のような周期性がなくなるため減水期においても流砂量のpeakが続く。これは非平衡流砂機構にみられるstep lengthによる緩和過程であろう。すなわち、せん断応力の減衰に比べ砂粒運動の慣性が大きくなると考えられる。モデル化に際して式1に示されるstep lengthの緩和距離 X_D を考慮した非平衡流砂量モデルをもちいるため以下の点に留意した。①せん断応力の位相、振幅の把握、②砂粒運動の慣性による緩和過程の考慮、である。図4は感潮河川について適用された岡本²⁾の一次元解析を洪水流に適用し流速の振幅、水深に対する位相差の計算結果と実験結果との比較である。さらに図3に示すように抵抗係数がほとんど変化しないためこの結果を流砂量モデルのせん断応力 τ_* の位相、振幅に取り入れ、その時間変化を $\tau_* = \sin(\omega t - \kappa x + \phi_{\tau_*})$ として与えた。なお $\omega = 2\pi/T$ 、 $\kappa = 2\pi/L$ 、 τ_* ： τ_* の振幅、 T ：洪水の周期、 L ：洪水の波長、 ϕ_{τ_*} ：水深に対する τ_* の位相差である。pick-up rateについては流れの加速度 $\partial u / \partial t$ を考慮した滑動形式の式2をもちいた。この計算結果を図5に示すが本実験では $\partial u / \partial t = 0.002$ 程度であるので加速度の影響はほとんど無い。実河川ではほとんど無視できる程度である。砂粒速度 v_{gs} 、step lengthは τ_* に関して一定とした。 X_D は辻本らの結果より粒径の30倍とした。その結果を図7に実験値と併示した。点線はせん断応力の位相のみを考慮したものでいわゆる準定常仮定のものであるが本モデルとは位相、振幅とも異なり、本モデルより流砂量の準定常仮定との差を表すことができた。さらに、Fr数によりその位相、振幅が変化しFr数が大きくなると h/d 一定にたいして位相は遅れ、振幅は減少することも算出された。

4. あとがき 洪水流下の掃流砂機構として、pick-up rateは比較的せん断応力に追従するが、流砂量についてはそれからの遅れが大きいことが実験的に示した。さらに、洪水流下の流砂量モデルを提案した。今

後の課題として, stochastic model のもう一つの構成要素で, 流砂の非定常性の主要因となる「step length」についての検討が必要である。

参考文献1) 中川・辻本・村上: 河床波状の流砂量分布について, 第28回水理講演会論文集, pp735~741, 1984
 2) 岡本元治朗: 河川における潮汐, 地球物理, 第2巻, 1940

case name	i_a	h_s (cm)	U_s (cm/s)	F_{rs}	$u-u_s$ (cm/s)	ΔT (sec.)
SIN1	.001	4.90	28.72	0.41	1.85	15
SIN2	.001	4.58	33.08	0.49	1.45	30
SIN3	.002	4.28	50.00	0.77	2.70	30
SIN4	.002	3.90	47.10	0.76	2.63	15
FLD1	.001	4.69	34.70	0.51	2.05	36
FLD2	.002	4.35	55.10	0.84	3.05	25

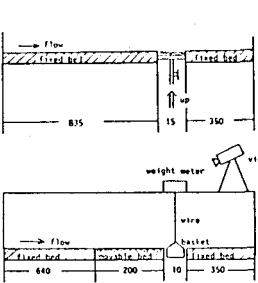


図1 実験装置

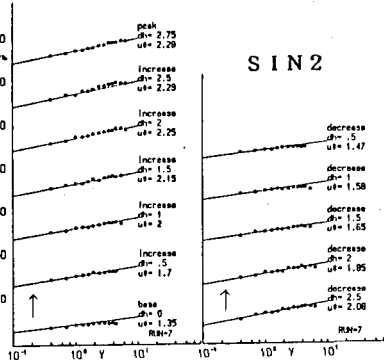


図2 流速分布

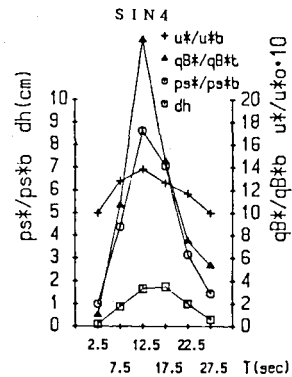


図3 実験結果

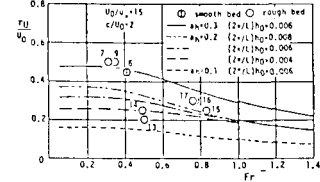
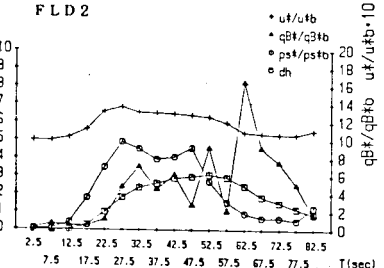
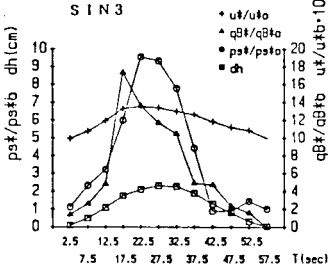


図4 一次元解析

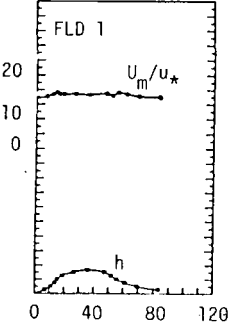
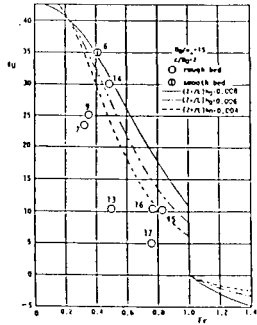


図5 抵抗係数

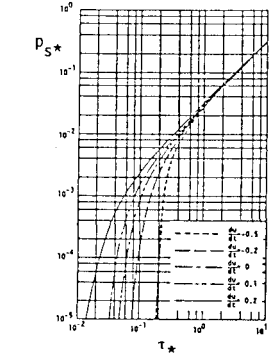


図6 p_s 推定式

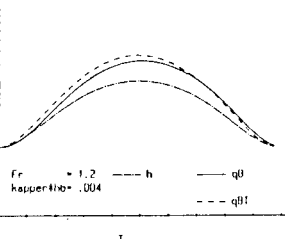
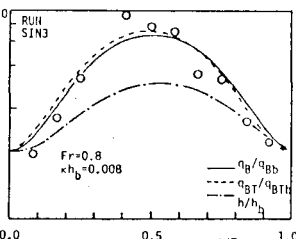


図7 計算結果