

16 遊砂地の堆積シミュレーション計算

大日本コンサルタント株式会社
建設省土木研究所

○松村 恭一
石川 芳治
矢島 重美

1. はじめに

遊砂地の流出土砂調節機能に関する水理模型実験の二次元河床変動計算及び一次元等流河床変動計算による再現を試みた。計算の結果、

- 二次元河床変動計算によって堆砂の進行、遊砂地からの土砂流出過程を概ね再現できること
- 一次元等流河床変動計算により、平衡状態にある遊砂地内の堆砂形をほぼ説明できること

を確認した。また実験及び計算結果に基づき、より機能の高い施設形状等について簡単な検討を加えた。

2. 実験および二次元河床変動計算の概要

実験水路平面及び縦断図を図1に示す。水路は直線水路(幅0.3m)の一部を拡幅(幅最大0.9m)させたもので、60cm間隔で落差工が配置してある。水路床は実験砂($d_m=1.8\text{mm}$)のニス張りで、粗度係数 $n=0.024\sim 0.028$ ($Q=12\text{ l/sec.}$)である。実験は6ケース実施されたが、ここで計算対象とするのはケース2～5の4ケースである(表1)。ハイドログラフを図2に示す(実験では土砂の堆積厚測定のために5分

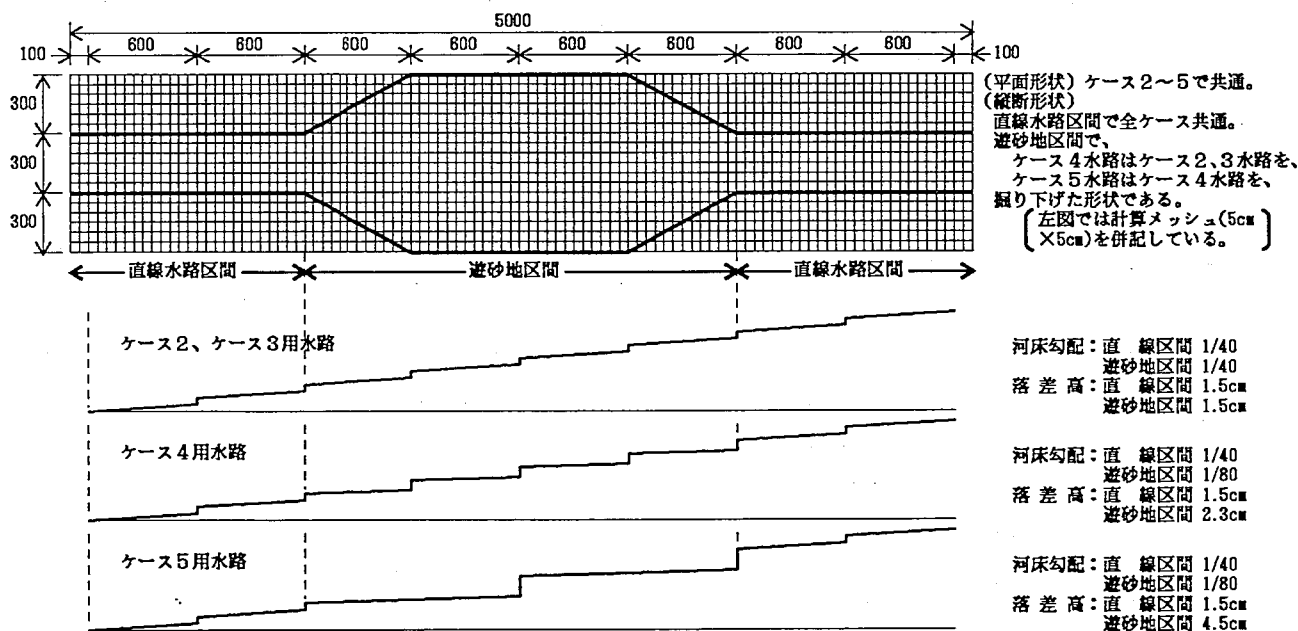


図1 実験水路平面及び縦断図(単位:mm)

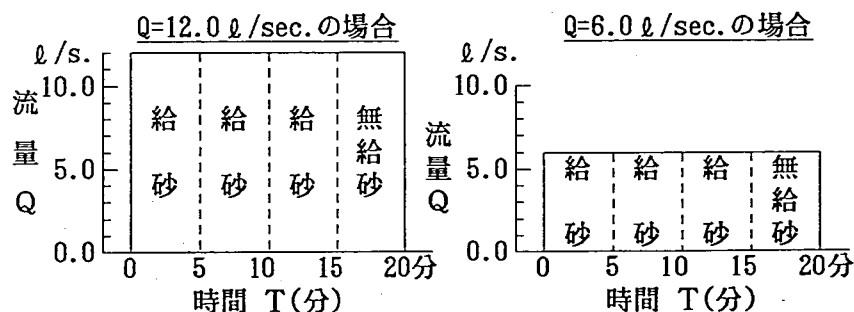


図2 ハイドログラフ

表1 実験ケース・給砂速度

実験 ケース	流量 Q ℓ/s	給砂 濃度 (%)	1分間 給砂量 (実験)	1分間 給砂量 (計算)
2,4,5	12.0	1.026	10,880	10,864
3	6.0	0.988	5,200	5,231

(単位cc/分,土砂量は空隙込)

毎に給水を一時停止している)。実験開始後15分までは平衡給砂を行い遊砂地内に堆砂を生じさせ(堆砂過程)、その後5分間水のみを与え堆積土砂を排出させている(侵食過程)。実験使用砂は平均粒径1.8mmのほぼ均一な砂である。給砂速度は水山らの流砂量関数¹⁾((1)式)に基づき与えている(表1)。二次元河床変動計算は岩佐らのモデル²⁾を用い(メッシュ幅5cm)、抵抗則にはマニング則を採用した。また流砂量関数には(1)式を用いた。

$$\phi_B = 21 \tau_*^{1.5} \left(1 - 0.85 \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right) \left(1 - 0.92 \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}} \right) \quad (1)$$

ここに ϕ_B : 無次元流砂量、 τ_* : 無次元掃流力、 τ_{*c} : 無次元限界掃流力 (=0.03)

3. 実験及び計算(二次元)結果の比較

3.1 土砂収支状況

各ケースの累積供給土砂量、累積流出土砂量、遊砂地内堆積土砂量の時間的変化を図3に示す。どのケースも5分間ではほぼ平衡状態に達し、その後の遊砂地内貯砂量の伸びは小さい。計算はケース2、4で比較的再現性がよい。ケース3の再現性の低さは、適当な粗度係数が与えられていないためと考えられる(土砂収支から見た遊砂地機能の検討については本文6. 参照)。(計算) □累積給砂量、+累積流出土砂量、◇堆砂量、(実験) △累積給砂量、×累積流出土砂量、▽堆砂量

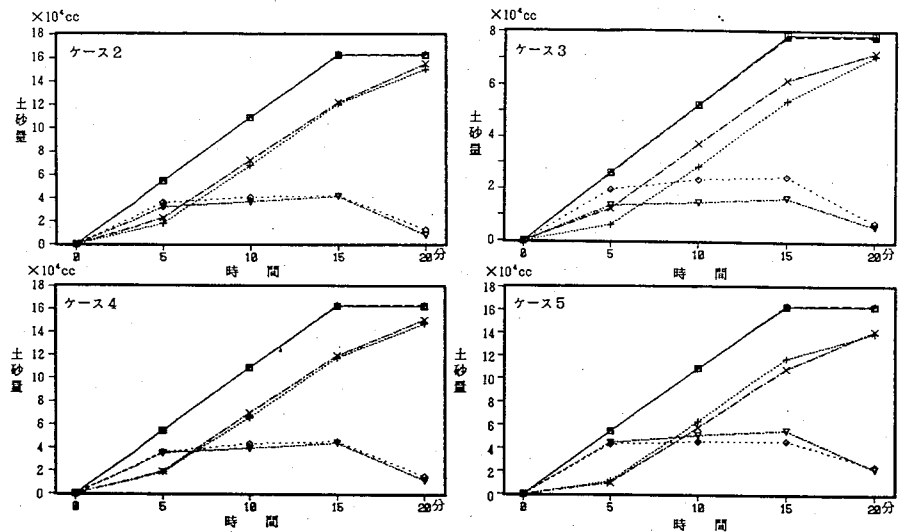


図3 土砂収支状況

3.2 水位、河床変動状況

例としてケース2の平衡時(15分後)と実験終了時(20分後)の土砂堆積深分布を図4に、また平均水位及び河床高の状況を図5に示す。他ケースの含め比較の結果は概ね以下のようなものである。

- 実験、計算ともに遊砂地下流側に堆積が集中する。堆砂高、水深は計算で大きめとなる傾向がある。流砂量関数の選択や粗度係数、堆積土砂の間隙率の設定等検討の余地を残している。
- 実験、計算ともに水路幅拡大が終了する地点での衝撃波による堆砂や、縮小区間の側壁沿いの局所洗掘が発生している(計算では二次流を考慮しておらず、単に側壁沿いに流れが集中することによる洗掘と考えられる)。

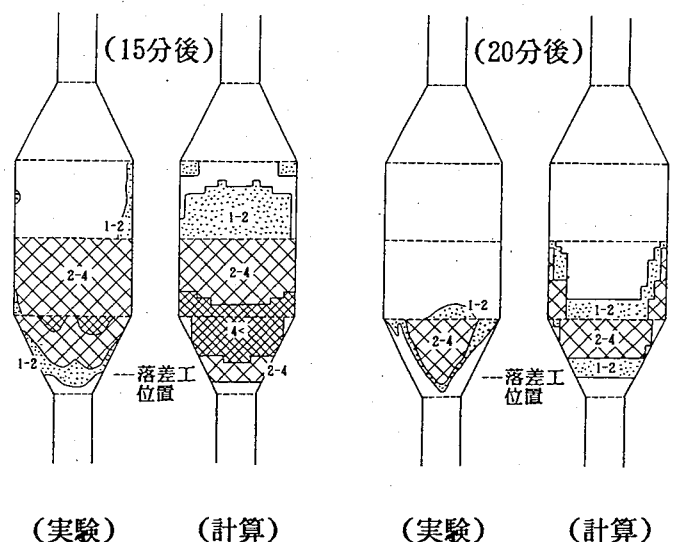


図4 土砂堆積分布状況の比較(ケース2、単位:cm)

• 侵食過程では堆積土砂は実験、計算ともに、上流側部分が侵食され下流側に供給されるため、河床低下は上流側で著しい。また水路幅縮小区間側壁沿いの洗掘は残ったままである。しかし実験では上流からの土砂供給で下流側は平衡時よりも河床上昇を生じた場合もあるが、計算では見られなかった。

• 侵食過程終了後の土砂

残存範囲は実験と計算でほぼ同じであるが、局所的な河床形状には違いが見られる。

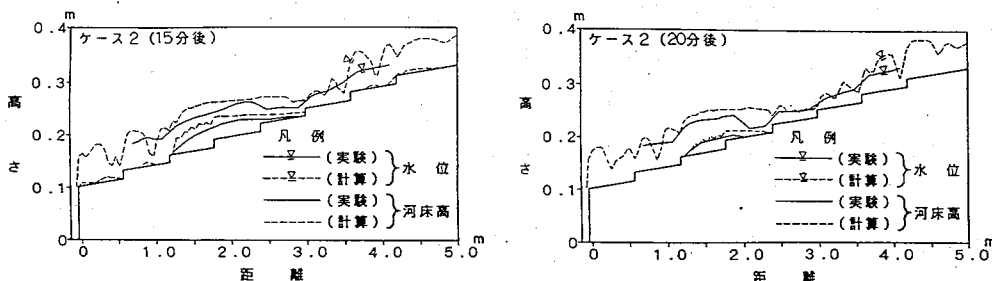
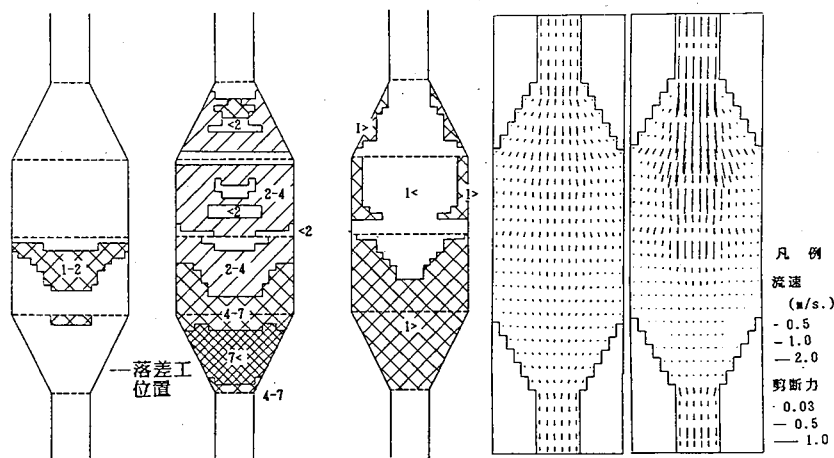


図5 平均水位、河床高の比較

4. 堆砂過程及び侵食過程

ケース2を例として堆砂過程及び侵食過程について、計算により得た結果を述べる。堆砂過程(図6)では洪水流入→せき上げ発生→跳水位置で堆砂開始→上下流方向へ堆砂拡大(上流方向:堆砂のそ上、下流方向:せき上げによるプール内での堆積)という過程が表現された。また、侵食過程では堆砂域の上流側部分を中心に侵食がすすみ、それが供給土砂となって下流に運搬される状況が表現された。これらは実験で確認されたこととほぼ一致する。



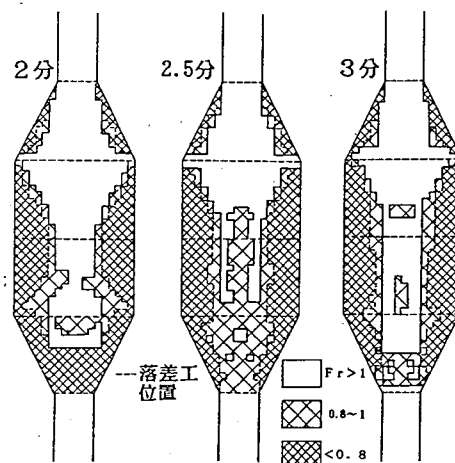
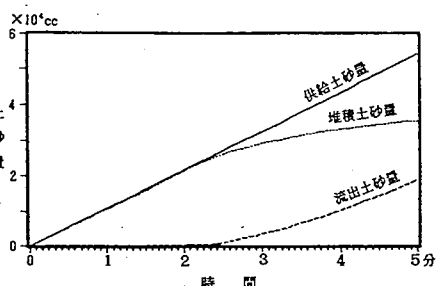
(左から堆積深、水深、フルード数、流速、無次元掃流力分布)
図6 開始30秒後の状況(ケース2、計算)

堆砂過程でフルード数の状況を見ると(図7)、堆砂進行に伴い堆

砂面上の遊砂地出入口をつなぐ線上で、上流から下流方向に徐々に射流領域($Fr > 0.8$ の領域、一部常流であるがこれを射流域あるいは主流路とよぶ)が形成される。計算では

この領域の先端が遊砂地出口に到達する頃から流出土砂量が急増し、平衡状態に急速に近づく。実験での堆砂過程のフルード数状況は測定されておらずこのような領域形成状況は明確でないが、堆砂面上の同じ線上に深さ1cm程度の溝が形成されており、主流路が形成されている可能性がある(図4参照)。

図7
流出土砂量の時間的变化(左)
と射流域の形成状況(右)
(ケース2、計算)



5. 平衡時一次元堆砂形の予測

芦田³⁾は河幅変化区間の平衡時一次元河床形を以下のように示している。

$$h/h_0 = (B/B_0)^{-4/7}, i/i_0 = (B/B_0)^{-2/21} \quad (2)$$

h:水深 i:エネルギー勾配 B:河幅 添字0は境界条件を与える地点を表す

これは一定給水、平衡給砂条件下で水位及び河床形を流水、流砂について定常等流として求めるもので、芦田は流砂量関数に土研式、抵抗則にマニング則を用いている。この方法で流砂量関数に(1)式を用い、 $\tau_* \gg \tau_{*c}$ として実験結果と比較した(図8)。(2)式は同じ河幅条件では元河床高に関係なく同一堆砂面が形成されることを示すが、ケース2、4、5実験結果はそれを裏付けている。二次流による抵抗、水位の実験値と計算値の相違など検討課題も残されているが、(2)式による計算値は河床高については実験結果と比較的よく一致する。

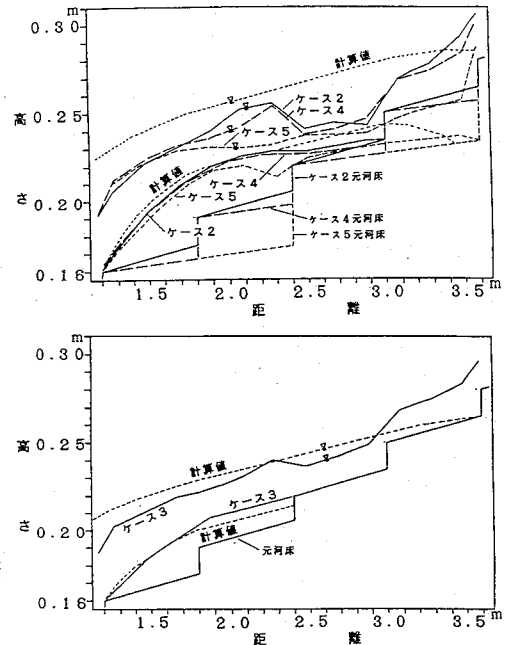


図8 平衡時平均水位、河床高の比較

6. 遊砂地機能に関する検討

4. の検討結果から、射流域($Fr > 0.8$)先端の遊砂地出口到達までの時間を遅らせることで貯砂量を増大させられると考え、ケース2の条件で出口を30cm側方にずらした場合の計算を行った(ケース2'、図9)。次に遊砂地機能を貯砂機能と排出機能に分けて定義し、給水・給砂条件が同じであるケース2、4、5、2'間で遊砂地機能の比較を行った(表2)。これらから以下のことが分かる。

- ・ケース2、4、5では同一堆砂面が形成されるため(5. 参照)、初期河床高の低いケース(掘り込みの深い)ほど貯砂量、すなわち貯砂機能が大きい。
- ・ケース2'で貯砂機能増となるのは、出口のシフトで流れの抵抗が増加するためと考えられる(貯砂量はケース2計算結果の1.8倍強)。これを粗度係数で評価することで、(2)式で平衡時河床形を説明できると考えられる。
- ・侵食過程での流出土砂量はケース2、4、5実験でほぼ同じである。これは流量条件が同じで遊砂地出口付近の水理量に大差がないためと考えられる。
- ・ケース2'でも流出土砂量はケース2とほぼ同程度であり、貯砂機能が大きいいため、流出機能は逆に小さくなる。侵食過程の観察、解明が必要である。

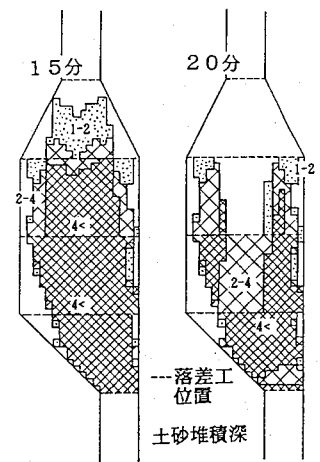


図9 ケース2'計算結果(cm)

7. おわりに

今後適切な遊砂地規模の検討、堆砂及び侵食過程の実験による観察・解明、ケース2'の場合のような貯砂効果の高い平面形状の検討と実験による確認、(2)式による河床形予測の検討等を行いたい。

表2 貯砂機能(A/B), 排出機能(C/A)の計算

ケース	A	B	C	A/B	C/A	ケース	A	B	C	A/B	C/A
2	4.2	16.3	2.9	0.26	0.69	2	4.1	16.3	3.3	0.25	0.80
4	4.5	16.3	3.0	0.28	0.67	4	4.4	16.3	3.2	0.27	0.73
5	4.6	16.3	2.2	0.28	0.48	5	5.5	16.3	3.4	0.34	0.62
2'	7.7	16.3	3.3	0.47	0.43	(左:計算、右:実験、単位:10 ⁴ cc)					

A: 開始15分後遊砂地内土砂量 B: 0~15分間給砂量 C: 開始15~20分後間流出土砂量

文献:1) 水山ら: 急勾配固定床水路における掃流砂量の算定方法, 土技資vol.25, No.8, 1983 2) 岩佐ら: 氾濫水の水利の数値解析法, 京大防災研年報23B-2, 1980 3) 芦田: 断面変化部における河床変動に関する研究(I), 京大防災研年報6, 1963