

写真測量による洪水観測 Flood Flow Observation by Photogrammetry

自由学園最高学部 正員 木下良作

昨年7月、第14回水工学に関する夏期研修会において、筆者は「洪水と流路形態の現地観測」について述べた。水理・水文現象の観測をテーマとする本水理講演会において、先の論文の補遺をここに記すことを、許していただきたい。

1. 先の研修会の「現地観測」とは、現地で観測するという意味と、現地を観測するという意味の、双方が含まれる。筆者は前者に近いものとして大井川洪水の地上写真測量について述べ、後者に属するものとして、諸河川の洪水の航空写真測量をしるした。

2. 近年人工衛星を利用したりモートセンシング技術が急速に発展し、諸方面への活用が図られている。センサやその解析方法の進歩と、かつてない巨視的立場を得た近年のそれからは、新しいさまざまな現象が見出されはじめているが、しかし決め手はやはり「現地調査」をともなわなければ、といわれている。「リモートセンシング、プラス現地調査」というのが、その進歩発展のための一つの図式である。

従来の写真測量も、可視光線を利用した、一種のリモートセンシングであったと逆にいえない¹⁾。かつて地上で扇状地河道の洪水の怖ろしさを度々体験した筆者は、洪水観測を写真測量という方法に求めた。洪水流は著しく濁っており、そこから観測されるものは表面流況である。表面から内部の流況まで理解を進めるためには、ここでも「リモートセンシング、プラス現地調査」は重要な意味をもつ。現地調査が危険であり、「遠隔」に逃げた洪水の場合、その現地調査はモデル水路による実験が、その一つに相当する。その意味で筆者は、敢えて不完全ながら二、三の水路実験例について、先に述べた次第である。

今回の補足の一文においても、洪水の写真測量結果に対し、主として形態と運動の相似に重点をおいて進めている、水路実験例を若干つけ加えたい。

3. 先の論文において、〔写真-5〕の印刷が不鮮明で、これから何が測られるのか疑念を抱かれる方が多いと思われるので、その部分伸し(に相当する写真)をここに写真-1として再掲する。

平時は網流のはげしい大井川で、洪水時はかなり整然としたウロコ状(複列)砂レキ堆形成を示し、かつ前進移動する性質を示した。そして流量減少とともに、再び流れは網状にわかれた。このような形態と運動について、現在建設省静岡河川工事事務所の委託調査として行われている実験の中から、特に事務所の許可を得て、ここに二、三の写真例を掲げる。

池田の河床形態区分図²⁾にもみられるように、複列のウロコ状砂レキ堆は、水路幅→大、勾配→大、水深→小、そして底面粒子は流れに対してその掃流限界に近い大きさをもつ場合(U_* / U_{*c} が1に近い)ほど現れやすいことが知られる。これは扇状地河道のもつ特性をそのままあらわしているともいえる。それらの条件を満足させるようにして実験水路上にウロコ状砂レキ堆を現出させた例が写真-2、ついで低流量で比較的長時間通水したその変形例が写真-3、次に再び元の流量に増加した時の経過写真の一例が写真-4である。先の論文においても記したように、洪水時形成のウロコ状砂レキ堆の高位の面は、低流量による周囲の変形を受けても残った場合、次の高流量で再び復活してゆくことが、実験においてもうかがわれる。

また河道が弯曲した場合のウロコ状砂レキ堆は写真-5であり、先の論文の〔図-1大井川例〕と極めて似た形、および挙動を示すことが認められる。

4. 混合粒径砂の掃流実験において、粒子の細粗の分類が行われることを、掃流量の面から且て「石狩川河道変遷調



写真-1 大井川，昭・52.8.18. 18時 河床は殆ど全面濁水におおわれ，ウロコ状砂レキ堆の形成を示す波紋が明瞭に看取される。流量約 2,500 m^3/s ，（木下撮影） 鉄橋は東海道本線・先方は金谷町．

査，参考編”（科学技術庁資源局資料第36号，昭. 37. 12. pp. 118～124）に詳述したが，その際粗砂の方が掃流速度が大きかった。これは U_* / U_{*c} が小さい流れでは，粗粒の方が流れの表面に近い，流速の大きい部分の影響を受けやすいと考えられたが，実際の扇状地河道でも大礫が砂レキ堆の高位面に分布することが多く，³⁾ある共通性がうかがわれていた。

滑面水路におけるある砂量の掃流形態として，写真-6のような，上流に向けた楔形を示し，そのまま流下移動する場合がある。図-1に示すように，50 μ 粒径はほぼ同一でも，混合の状態を変えた砂を用い，他の条件（水路幅，

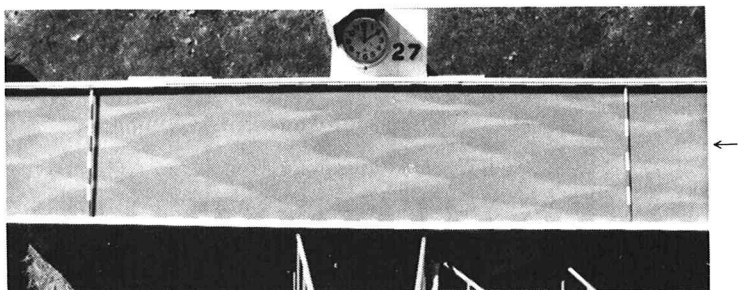


写真-2 実験水路上のウロコ状砂レキ堆
（ $B = 80 \text{ cm}$ $I = 1/40$ $d_m = 0.765 \text{ mm}$ $Q = 1.2 \text{ l/s}$ ）
流水には水性ペイントを加え，若干白濁させてある。

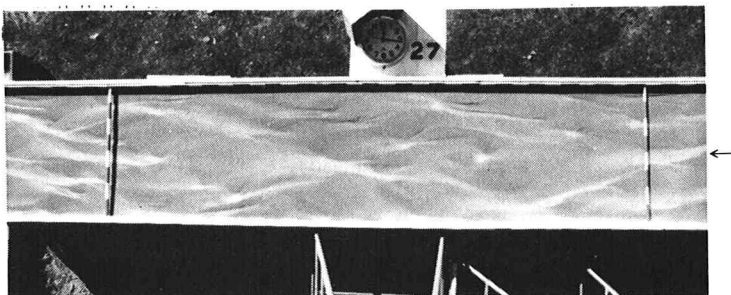


写真-3 同 上． Q を 0.3 l/s に落して通水し変形した状態

勾配、流量)を一定にして通水した例が写真-7, この場合、観察によれば、細粗の分類が行われるとともに、粗粒は細粒の上を写真-6の形式に近い流れ方で動き、主として砂レキ堆のクレスト付近の高位面に停留しやすい。そして玉井、長尾、三国らの指摘したように⁴⁾、流れは定常流

であっても網状化し、場合によっては粗粒面が水面上にあらわれ出す。写真-8は常願寺川の洪水減水期の写真例、その形態は写真-7と極めて似ているといえる。大局的には砂レキ堆を形成する流れ方には共通性が認められるが、単一粒径に近く揃っている程(大井川のように)砂レキ堆形態がキレイに現れ、混合の範囲が大きい場合には、(常願寺川のように)その上の網流化が強まるといえるようである。

5. 網流という語は、ある形状の形容であり、外国の自然な扇状地性河道や、あるいは河口デルタ地域にもあらわれる多数の分(合)流を形容する場合もあり、河道幅は限られた場合でも、今のべた、満水面・定常流における主流部分の網状化の場合もある。これは砂レキ堆が単列でも複列でも起り得る。一方流量が減少する不定流効果としては、キレイなウロコ状砂レキ堆が損われずに減水しても、流れはある意味では整然とした網流化であり、低流量による変形が加われば、一層複雑な網流となる。このようにBraidedという形容語は、条件を付さないで術語化することは難しいと考えられる。

6. 先の論文において、洪水流として、あるいは開水路流れの一つの基本的構造としての並列らせん流の実際と実験例、あるいは低水河岸上の洪水時の流速低下現象に関する実際例と一実験例等について述べた。また利根川の取手付近で見られた、低水路流心部の洪水時のはげしい蛇行現象の空中写真例も掲げた。

ここでは写真-9に対応するような、一実験例についてつけ加える。それは低水路の水深、川幅比が約1:5の複断面水路で、低水路側壁に斜め

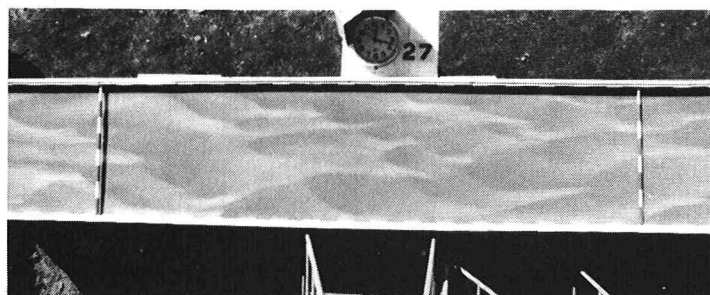


写真-4 同 前。再び Q を 1.2 l/s に増加。ウロコ状に戻っているところ

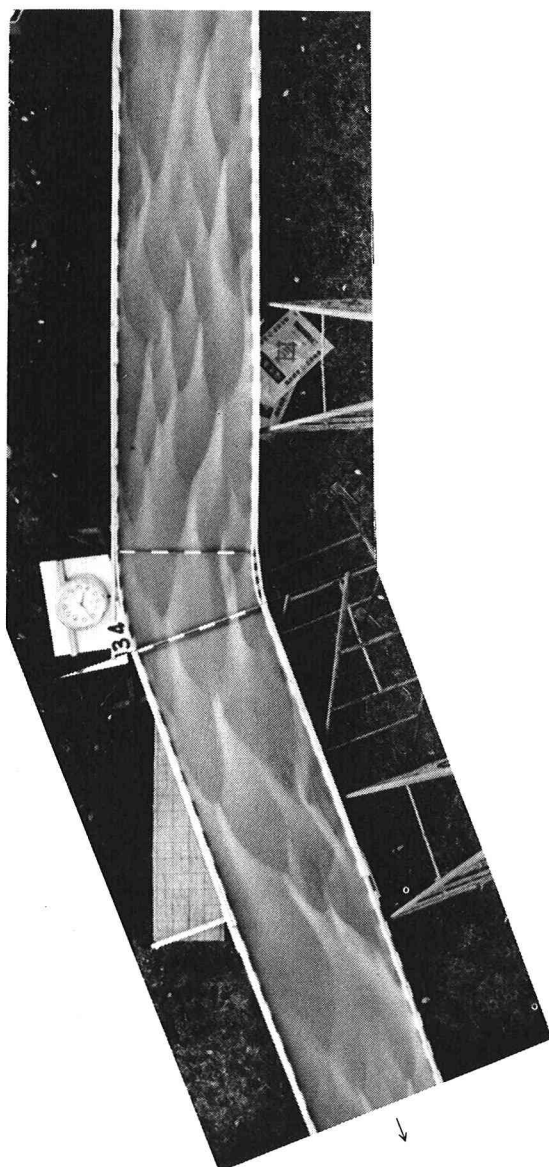


写真-5 曲った水路におけるウロコ状砂レキ堆 (他の条件は同前)

下流に傾斜させた波形粗面を取付け、両方の河岸で上昇、流れの中央で沈みこむ2本のラセンの流れが起るように仕組んだ水路であるが、表面流速分布を示すステレオ写真は写真-10である。低水河岸の肩の部分の著しい流速低下のほかに、流心部の尖鋭な流速増大とそのはげしい蛇行現象を立体視することが出来る。表面流線は写真-11、渦形成の一例を示すものが写真-12である。これが写真-9と全面的に同じ流況をしめすものかどうか、まだ検討の余地があるが、このようにして実際例の実験水路への再現を求め、流れのいろいろな可視化の方法によって、その流れの構造を探ることが可能であろう。そして地上あるいは航空写真測量によって、さまざまに捉えられる洪水流の実態が、その表面流況のみならず内部流況とその時間的変動特性までも明らかにされて、その河川工学との関係も検討されてゆくことになろう。実験の詳しい報告は他日にゆずり、ここではその期待を述べるにとどめる。

7. 先の論文においては「現地観測」の実施面での諸問題の検討は省かれた。今回もここでは省略せざるを得ないが、洪水時の観測の成功なくしてその後の展開はあり得ず、実施面での諸問題の検討は、こんご重要な課題であると思われる。

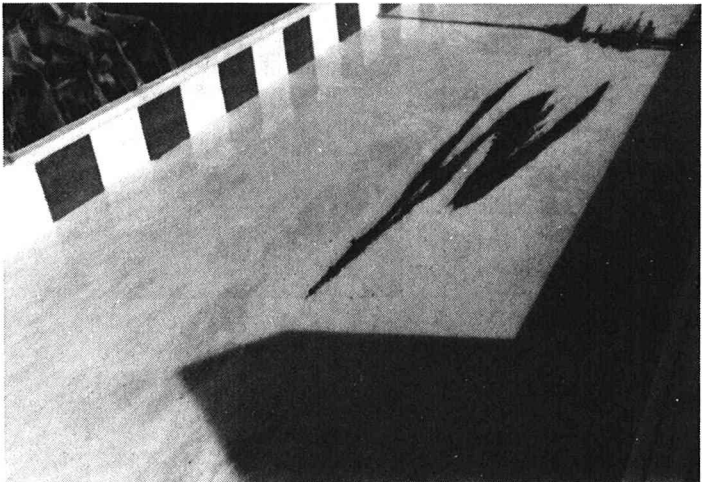
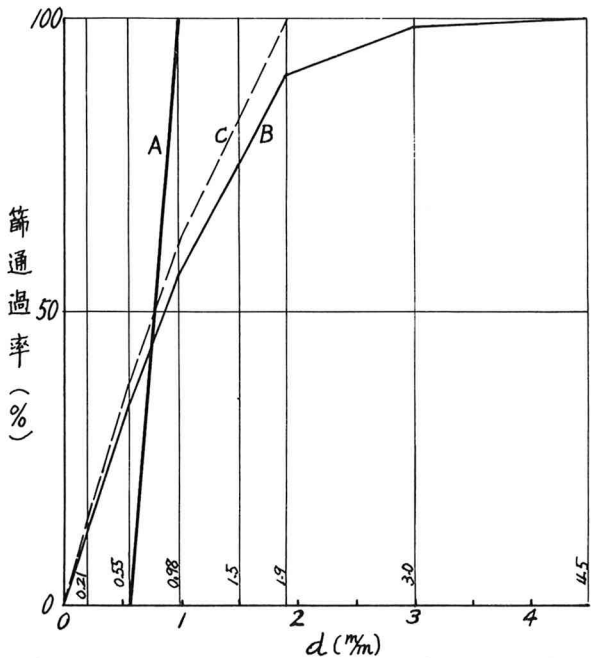


写真-6 滑面水路の上にある砂量の掃流形態。(流れは手前から前方に鋭い楔形を呈し、その形のまま下流に移動してゆく。)



参 考 文 献

- 1) ただしリモートセンシング
は、写真測量の一応用分野と
して定義されている。(写真
測量とリモートセンシング、
1977年No.3)
- 2) 池田 宏：実験水路におけ
る砂礫堆とその形成条件、地
理学評論 No.46-7(1973)
- 3) 建設省富山工事事務所：常
願寺川流出挙動解析調査報告
書(木下良作)(1970)
- 4) 玉井信行，長尾 哲，三国
史雄：直線水路における複列
砂レキ堆と網状流路の形成に
ついて，第22回水理講演会論
文集(1978)



写真-8 常願寺川，昭. 44. 8. 12. 17時(富山工事事務所)
流れのパターンは写真-7に酷似している。



写真-9 利根川 取手市付近，昭. 46. 9. 1. 17時30分(利根川下流工事事務所)
低水路の渦と流心部の蛇行

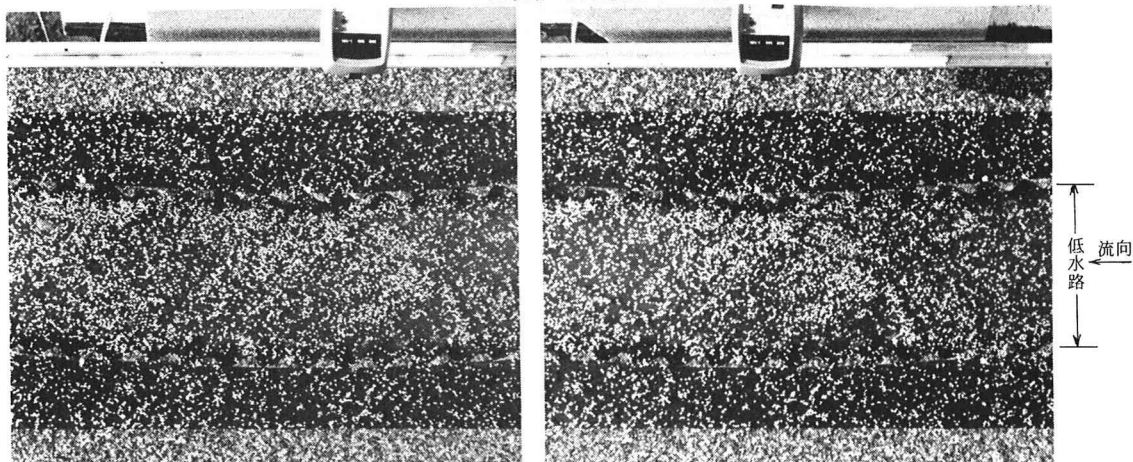


写真-10 複断面水路における表面流速分布を示す立体写真
流れ全面にパンチ屑をまき，1/50秒の時間差を与えて(下流側カメラを先に)撮影したもの。
カメロン効果により，流速に応じ，パンチ屑は水面より浮び上って見える。

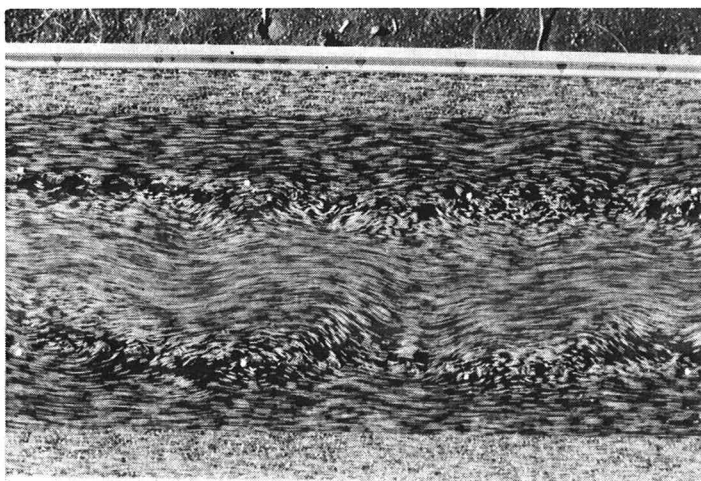


写真-11 同 前. 表面流速ベクトル, シャッター速度 1/16 秒

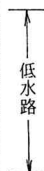
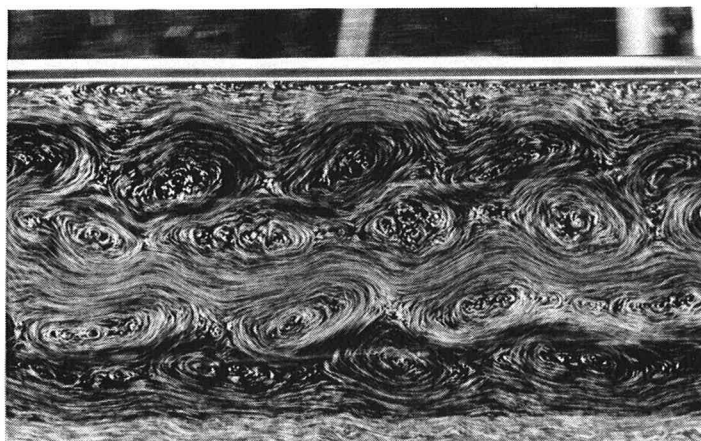


写真-12 同 前. 渦写真の一例
シャッター速度 1/4 秒の流し撮り