

洪水解析精度向上のための航空写真撮影法の改良
Improvement of Aerial Survey Technique for Analysis of Flood Flow

建設省土木研究所 福岡捷二 S. Fukuoka

” 藤田光一 K. Fujita

” ○荒木智三 T. Araki (現日本建設コンサルタント)

1. まえがき

洪水時に撮影された河川の航空写真は、洪水について非常に多くの情報を有しており、流況、表面流速ベクトル、表面等流速線等の情報は洪水流の流況解析や河道計画策定に数多く利用されてきた。^{1), 2)} 航空写真情報を河道計画に反映させた例としては、洪水流線解析に基づいた低水路法線形の検討、死水域の判読による不等流計算の精度向上、水衝部位置の判断、水制や護岸の効果の判断、模型実験の信頼性向上のための資料等がある。このように、航空写真は河川技術、河川工学に新しい視点を導入し、技術の発展に貢献してきた。しかし、従来の撮影法では、水位に代表される高さに関する精度が低いため、表面流況に関する情報を高さに関する情報と組み合わせることができず、このことが、航空写真の河道計画への利用をさらに進めるうえでの大きなネックとなっていた。

本研究の目的は、従来の航空写真撮影法の問題点を明らかにし、これらを改良することにより表面流速に加えて水位、水面勾配、高水敷の植生分布など高さや広がりに関する精度の高い情報を得ることにより、航空写真の河道計画への利用範囲を従来よりも広げようとするものである。提案する方法を濁沼川の洪水観測に適用し、その有効性を検討する。

2. 従来の撮影法の問題点とその原因

2-1 従来の撮影法の問題点

従来の航空写真の撮影は、縮尺が1/10,000程度、撮影高度が1,500m、オーバーラップ率が80~90%で行われており、このため航空写真利用のうえで以下のような問題が生じている。

(1) 洪水流の解析の精度には、流量とともに水面勾配の精度が影響する。航空写真から水位縦断変化を素早く精度良く読み取ることができれば、この問題は著しく改善される。現在の撮影法では、地物の高さや水位の読みとり精度が悪く、特に写真から読まれる水位の信頼性が低いため、利用に供することはできない。

(2) 撮影の飛行高度が高いため、天候や時間の制約を受ける。すなわち、河川の上空に雲や霧がかかっていたりすると撮影できない。特に、撮影は主として流量ピーク時付近をねらって行われるため、天候の制約を受けやすく、雲がたれこめるような場合、及び急流河川のように出水が早い場合には、洪水流航空写真の撮影の可能性が小さい。

(3) 河川によっては河道内の植生の分布やこれらの流れに対する抵抗要素としての影響を考慮しなければ洪水流解析の精度向上が期待できない場合がある。平水時に、河道内の植生分布やこれらの標高、分布を航空写真から読み取り洪水時の航空写真と併せて利用すれば、洪水流解析精度が著しく高まる。

2-2 問題点の原因

標高に関する測定の誤差は、地形測量の場合、撮影高度の1/5,000~1/7,000程度と言われている。これに対して洪水時の航空写真撮影では、以下の理由より水位等の測定精度が低下する。

(1) 現在の洪水流航空写真測量では、地形測量のようにあらかじめ基準点を設置しておく事は行わず、1/2,500平面図から写真画像と対応する明瞭な地物をえらびこれを基準点として対地標定を行う。このため 1/2,500平面図の作成年度および写真画像と対応する明瞭な地物が少ないこと等が原因となって、高さ、水位の測定精度が悪くなる。

(4) 写真や図化機に固有の誤差が含まれている。

3. 測定精度向上のための撮影法の改良

3-1 高さの読み取り精度向上のための対策

高さの測定誤差は、図-1から明らかなように次式のように撮影高度と比例関係にあるため、撮影高度を低くすることにより、誤差を小さくすることができる。

Δh : 高さの測定誤差(m) H : 撮影高度(m) Δp : 写真上の横視差の測定精度(mm) b : 写真上の撮影基線長(mm)

(2) 上空から容易に認識できる標識を設置する

(3) 水位および水面勾配の測定精度を向上する

(4) 精度の高い解析機器を利用する

図-1 高さの測定原理

竹竿フロート方式	量水標フロート方式	係留フロート方式	水面水平位置方式	勾配マーク方式

—342—

3-2 流況の把握と表面流速の測定精度向上のための対策

撮影高度を低くすることにより、濃淡が明瞭な写真撮影が可能となり表面の流況が捉えやすくなる。また、ゴミ・泡等の動きも捉えやすくなるため、表面流速の測定精度の向上を図ることができる。さらに、地上から標定物を浮遊・流下させ、これを上空から撮影すれば、より確実性が増す。

3-3 天候や撮影時間に関する対策

天候や撮影時間の制約のために、写真がとれない場合がしばしば起こる。ヘリコプター、または飛行機の高度を600mまで下げて撮影することにより、航空写真撮影の可能性が高まる。さらに、ヘリコプターは、機動性があり、近くにヘリポートがあれば随時航空写真の撮影が可能となる。

以上で示した対策をまとめるとつぎのようになる。

問 題 点	原 因	対 策
地物、水位の測定精度が悪い	撮影高度が高い 標定点の精度が低い 水際線が不明瞭である	撮影高度を低くする 距離杭を利用することによって、 標定点の精度を高める 水面にフロート等を浮かべ、 水面認識をしやすいとする デジタル解析図化機を用いる
表面のゴミ等が見えにくく表面 流速の測定精度が悪い	撮影高度が高い ゴミの数と大きさが十分ではない	撮影高度を低くする 十分な数と大きさの標定物を流す
天候や時間的制約をうける 流況の時間的変化を把握できない	撮影高度が高い 飛行機に機動性がない	撮影高度を低くする ヘリコプターを使用する

4. 瀬沼川への新しい撮影法の適用

前項までに現在の航空写真撮影法の問題点と対策を提案した。ここでは提案した撮影方法の有効性を明らかにするため、実河川での適用を試みた。対象とした河川は、建設省土木研究所河川研究室の洪水観測施設が設置されている那珂川水系瀬沼川の28.10k地点を中心とする700m (27.8k～28.5k) の区間である。

航空写真の撮影は、平水時（低水路水深約50cm）と小出水時（低水路水深約70cm）に行ない、撮影と同時に地上においても100m間隔に設置された量水標による水位観測を行ない水位測定精度の検討を行えるようにした。瀬沼川では、8610号台風時に従来の方法による航空写真撮影が行なわれており³⁾、改良した方法との比較も行う。

4-1 撮影方法

(1) 撮影高度

8610号台風時には撮影高度は 1000m、改良した方法では撮影高度は600mである。

(2) 標定点の設置

標定点は、100mピッチの距離杭に上空から認識可能な20cm四方の白いポリスチレン製の標定物（写真-1）を取り付けた。

(3) 水位観測のための標定物の設置

平水時5ヶ所、及び小出水時10ヶ所に50cm四方の白いポリスチレン製の薄片を流されないように係留し浮かべたもの（写真-2）を標定点とし、水面の認識を行った。

(4) 樹木高測定のための標定物

河道内の樹木群の分布範囲や高さについても測定を行うため、樹木の高さが認識しやすいように、樹木の先に（1）で使用した物と同じものを取り付け、それを樹木の高さに合わせて設置し、それを標定物とした（写真-3）。平水時に航測撮影を行ない、あらかじめ樹木群の高さ、分布特性を把握し、図化しておく。



写真-1 距離標を利用した標定点

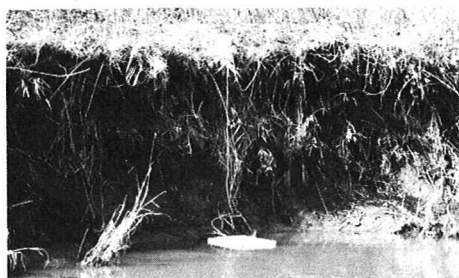


写真-2 水位観測のための標定物



写真-3 樹木高測定のための標定物

4-2 水位測定結果

(1) 従来の手法による水位測定結果

水位を測定するための基準点の標高は 1/2,500 平面図中の地盤高を用いた。

従来の撮影法により撮影した洪水航空写真から測定した水位と、同一時間に量水標で観測した水位の比較を図-3に示す。これを見ると、水位の測定精度は悪く、そのずれの最小でも35cmあり、平均で50cm程度であった。

(2) 改良した方法による水位測定結果

標定点の高さをもとに、水位フロートから標定した水位を平水時のものと小出水時のものとあわせて、図-4に示した。なお、図-4には航空写真撮影と同時刻の量水標より測定した水位も示してある。

平水時に撮影した航空写真から測定した結果と量水標の観測結果との一致の程度は高く、28.1kmの地点を除いて誤差は 4cm以内に収まっている。小出水時のものも、航空写真から測定した水位と、量水標の観測結果との一致の程度は高く、すべて 4cm以内の誤差にとどまっている。このように改良した方法による水位測定誤差は従来の方法に比較して著しく小さくなる。ここで、平水時の測定でただ一つだけ測定水位と観測水位のずれが 8cmとなった 28.1kの測定誤差の原因を考えてみる。28.1kの水位フロートの状況を写真-4に示す。水位フロートは河道の中心に係留されているために写真-4にみられるように水面上のフロートが流勢により斜に傾いているのが分かる。このことが、観測水位とのずれが大きくなった原因と思われる。このことより、フロートを設置すれば良いわけではなく、できるだけ流れの穏やかな障害物の少ない河岸付近に設置するのが良いことがわかる。このように改良した方法は従来の方法に比べ、その精度が格段に良くなっており、実用上十分な精度をもつことが確かめられた。

4-3 その他の測定

従来の航空写真では、測定されていても測定精度が悪く利用できなかった情報が改良された方法では利用可能になる。これまでは現地調査と地上測量によるしかなかった河道内の微地形や植生状況が航空写真から得られる。図-5に樹木等高線図、図-6に図-5より読みとったある断面の樹木の横断分布形状を示す。図-7は図-6と同じ地点の樹木の分布を現地で直接測定した結果であり、両者の対応はよい。このように、植生の分

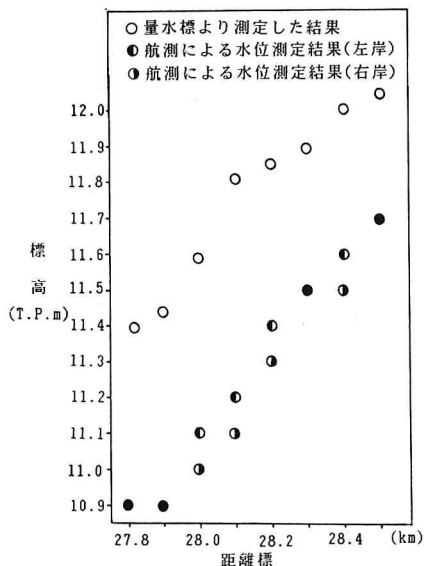


図-3 従来の方法による水位観測結果

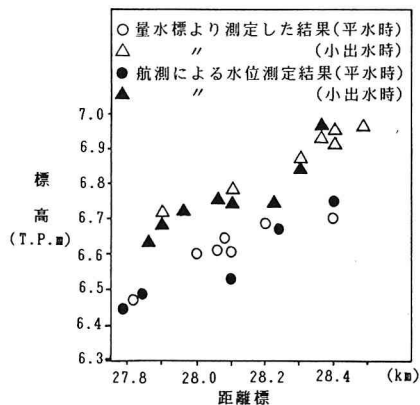


図-4 改良した方法による水位測定結果

布形状を現地で時間をかけて測定しなくとも、航空写真より容易に精度よく知ることができ、その結果は高水敷の粗度係数の算定に用いることができる。

4-4 その他の利用法

航空写真の特徴は、ほぼ同時に広範囲に渡って洪水の状況が把握出来ることにある。この特徴を最大限に利用し、ここで提案した方法により航空写真から、従来得られなかった次に示すような様々な情報を得ることが出来る。

- ① フロートを設置した任意地点間の水面勾配を高精度で測定出来ることから、任意区間の粗度係数を把握することが出来る。さらに、航空写真撮影を一時点だけで行うのではなく、経時に行うことにより、洪水時の粗度係数の変化も把握できる。
- ② 航空写真から得られる表面流速の状況から、植生の分布や高さが洪水流に与える影響を把握することが出来る。その一例として図-6に従来の方法ではあるが洪水時航空写真より測定した8610号台風時の表面流速の横断分布を樹木の分布と合わせて示す。これをみると、低水路左岸上の樹木等の繁茂により表面流速の低減状況がわかる。さらに、表面流速分布から植生の影響を把握することにより、水位計算に対しこれまで設定が困難であった水面下の植生に起因する死水域の算定も容易になる。
- ③ 表面流速分布から、ほぼ同時刻の概算流量を縦断的に知ることが出来る。図-8は、小出水時の流量ハイドログラフである。図中の流量は、低水路を5分割した浮子法による流観値及び浮子投下位置での流速を電磁流速計を用いて2点法により測定しそれぞれの領域の河積をかけたものである。同図中に流観を行っている箇所の表面流速を用いて算出した流量も示してある。測定流量は、低流量時のものであるがこれは悪天候のため大きな流量時の航測が不可能であったためである。表面流速から流量を算出する場合、表面流速と平均流速の関係が問題となるが、今回は表面流速と平均流速との比を1.0とした。この図を見ると、小流量時には表面流速から求めた流量とその他の方法による流量とがほぼ一致している。今後は大きな流量時の比較データを集め航測による表面流速分布からの流量算定がどの程度の精度であるかを明らかにする必要がある。

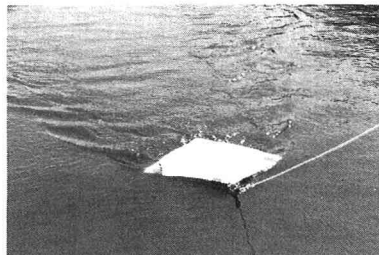


写真-4 28.1kに設置した
水位フロートの状況

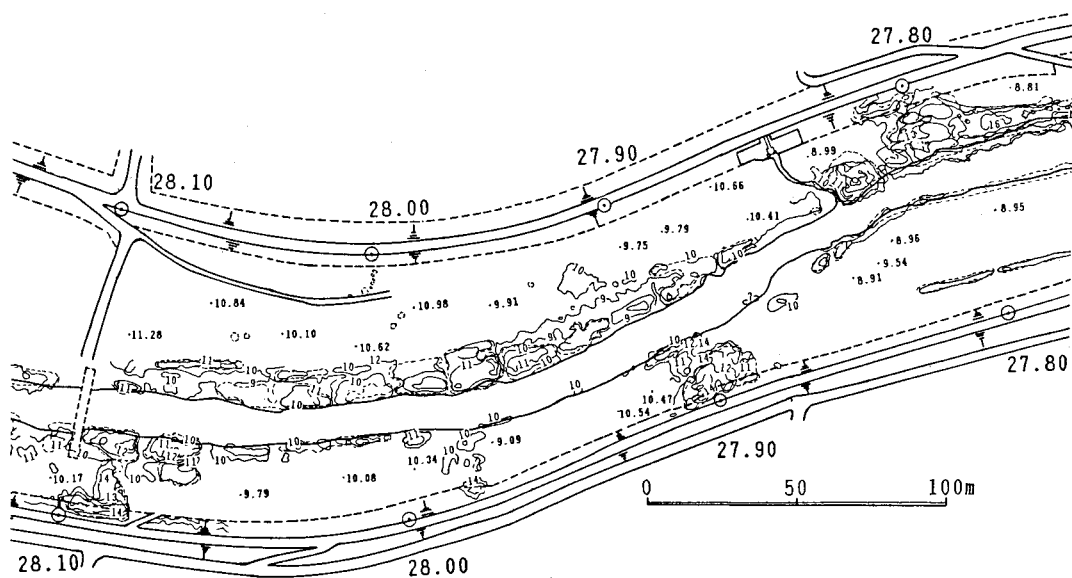


図-5 湊沼川河道内植生等高線図

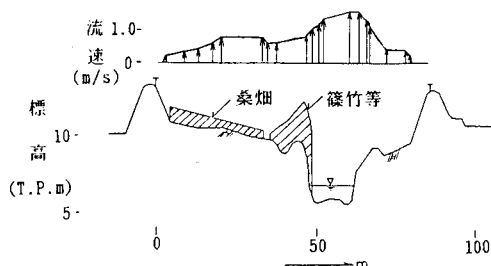


図-6 樹木の横断分布形状
(改良した航測による)

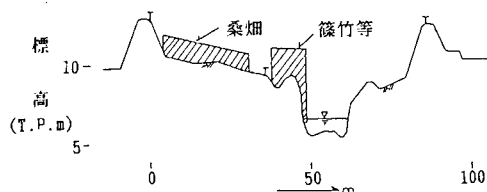


図-7 樹木の横断分布形状
(現地調査による)

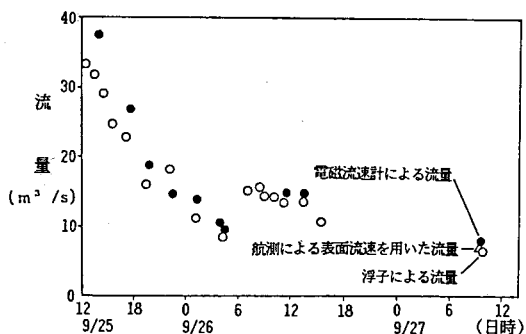


図-8 流量～時刻ハイドログラフ

5. おわりに

本報告で提案した撮影法により、航空写真から得られる水位など高さの測定精度が著しく向上した。今後は、航空写真から得られる高さや広がりに関する情報を河道計画に活用することが可能となり、航空写真の利用範囲が一層広がるものと思われる。

参考文献

- 1) 建設省河川局治水課・土木研究所河川研究室：蛇行現象と河道計画，昭和57年3月
- 2) 木下良作：航空写真による洪水流解析の現状と今後の課題，土木学会論文集，第345号，II-1，1984.
- 3) 福岡捷二ほか：1986年8月洪水による湊沼川の河床変動，第31回水理講演会論文集，PP635～640，1987.