

粗度係数について

川谷 健 (H.18.7.26)

以下は、H18.7.4 および H18.7.13 の総合治水 WT への意見書として提出したものです。内容については、口頭で説明しましたが、時間が十分でなかったり、委員の中に「逆算法」についての誤解があったりで、結果として意見書の論旨について必ずしも十分な理解が得られなかったと考えています。今後、この意見書の論旨の誤解に基づく議論・論理の展開がなされることのないことを願って、委員会資料として提出します。なお、提出に当たって、「補足説明」を数行加えました。

粗度係数について

川谷 健 (H18.7.4)

ここでは、低水路の粗度係数に関して、計画において流下能力の算定に用いた粗度係数（以下、計画粗度係数という）と H16 年 23 号台風による出水の洪水痕跡から逆算して算定した粗度係数（以下、逆算粗度係数という）とについて、両者の差が大きいと考えられ、また河道計画上は流下能力の評価に密接に関係すると考えられる複断面区間（No. -8～No.147）を対象に考察する。なお、この区間のうち、No. -8～No.15 の区間では、計画粗度と逆算粗度係数は共に 0.022 であり、したがって考察の主たる対象区間は No.15～No.147 である。

計画粗度係数、逆算粗度係数、および高水敷の計画粗度係数（樹木群の区間以外）は、下表のとおりである。

区 間	計画粗度係数 (河床材料から算定)	逆算粗度係数 (H16,23 号台風)	高水敷・計画粗度係数 (樹木群区間以外)
No. -8 ~ No.15	0.022	0.021	0.020
No. 15 ~ No.25+50	0.031	0.021	0.024
No.25+50 ~ No.89	0.034	0.023	0.021
No.89 ~ No.147	0.034	0.025	0.022

[計画粗度係数の設定方法について]

河道計画において、河川水位や流下能力を算定、評価するためには河道の抵抗を示す量として粗度係数を決める必要がある。粗度係数は、河道(区間)ごとに、また洪水ごとに異なる値を持つ。

粗度係数を決める方法としては、

- 1) 様々な流量規模の出水において流量，水位の縦断形，河道の縦横断形状，河道内の植生状況などの観測・計測結果を用いて不等流計算あるいは不定流計算によって求める方法（逆算法）
- 2) 河床材料の粒径分布を指標とし，あわせて出水規模に応じた水理量（平均水深，エネルギー勾配，摩擦速度，流速，掃流力）の計算結果も考慮して，所与の出水条件での移動河床の河床形状を推定した上で，河床の摩擦抵抗と河床波の形状抵抗とに基づいて粗度係数を求める方法が一般的ある．

以下では，まず「23号台風以前の時点で，逆算法による粗度係数の設定が可能であったか」について考える．

不等流逆算法によって洪水痕跡水位から粗度係数を算定する場合，計算対象区間にわたって，実績最大流量に加えて，少なくとも縦断方向の水位分布が一定の精度で得られている必要がある．ところが，H16年23号台風以前では，洪水痕跡水位はH10.10.18，H11.6.30，H12.11.2の3洪水で得られているものの，それらの測定・観測データは地点数，観測区間ともにきわめて限られており，不等流計算によって得られた水位縦断形と比較・検討して妥当な精度で粗度係数を求めるためにはきわめて不十分なものである（第44回総合治水WT，資料2参照）．さらに，これら3洪水の出水規模では，痕跡水位は局所的な水理条件，例えば落差工や局所的な河床の深掘れなど，また常流・射流の遷移にも大きく影響されていると考えられる．したがって，これら3洪水の痕跡水位から河道計画に必要な精度で粗度係数を算定することはできないと考える．

このため，23号台風以前の時点では，河道を粗度が一定と考えられる区間に分割したうえで，区間ごとに計画粗度係数を設定するためには，区間ごとの河床材料と計画規模の出水の水理条件とに基づく設定方法（・・・上述の2)の方法・・・）を用いるのが適当であると考えられる．

[23号台風の洪水痕跡水位を用いた逆算粗度係数について]

河川水位や流下能力の計算には，できるだけ精度の高い粗度係数を用いることが重要である．また，粗度係数が河床・河道条件や出水規模・水理条件によって異なることを考えれば，計画粗度係数の妥当性について可能な限り多くの検証・検討を行うことが必要である．そのため，少なくとも不等流計算あるいは不定流計算による逆算粗度係数の算定に利用できるデータの量と質を十分認識したうえで，水位の縦断形，流量，河道の縦横断形状などを観測・測定することが必要である．

23号台風の洪水での痕跡水位データは，上述の観点からも，また水位縦断形の測定が密であることから，非常に有用なデータであり，これから求められた逆算粗度係数は計画粗度係数の検証に有効であると考えられる．

上述の認識のうえで，それでも「23号台風時の逆算粗度係数を現時点で直ちに計画粗度係数として採用することは適当でない」と考える理由を以下に述べる．

粗度係数が，「逆算法」，「河床材料からの算定法」のいずれの方法によっても一定の合理的根拠をもつ

て求められているとする。いま、河道計画のための計画粗度係数として「小さい方の粗度係数」を採用すると、それに基づいて算定・評価される流下能力は大きくなり、また一定流量に対する河川水位は低くなる。すなわち、この場合、実際の河道と比べて、流下能力は過大に評価され、一定流量に対する河川水位は過小に評価されている可能性があり、結果としてこれに基づく河道計画は危険側のものになっている可能性がある（・・例えば、計画流量を流下させるに必要な堤防高や河川断面積 = 河積が小さく見積もられる・・）。したがって、「小さい方の粗度係数」を計画粗度係数とするには、「小さい方」の信頼性が「大きい方」より数段高いことが確実でなければならない。

それでは、「23号台風時の逆算粗度係数」の信頼性は、「河床材料に基づく粗度係数」より数段高いことが確実だろうか。

「逆算法」は、ふつう実用性の点から一次元あるいは準2次元の不等流計算に基づいて実行される。そして、複断面河道区間については、後者（準2次元不等流計算）が適用されるのが一般的である。

「不等流逆算法」では、河道を粗度や河床勾配が一定と考えられる幾つかの区間に分割したうえで、流量あるいは水位観測データなどから各区間の最大流量を推定する。そして、これら推定流量を用いて、各区間の粗度係数を試行錯誤的に変えて不等流計算を行い、計算水位（縦断形）と痕跡水位（実績水位）がほぼ一致すると判断できる場合の粗度係数を、区間ごとの（逆算）粗度係数とする。不等流逆算法の精度は、最大流量の推定精度や河道条件（計算区間ごとの河床勾配や河道の縦横断形状など）の精度に直接的な影響を受けるうえ、準2次元不等流計算では複断面河道区間における低水路流れと高水敷流れの違いによる相互作用を必ずしも適切に計算に反映できないことなどの影響を受ける。そのほか、流量や水位の時間変化が大きい（・・水量や水位が短時間で大きく上昇する・・）場合や、最大流量と最大水位発生時の流量に差がある場合などには精度が低下する。

23号台風時の最大流量 = $2900 \text{ m}^3/\text{s}$ は、甲武橋地点での水位観測データから $H \sim Q$ 換算によって推定された値である。この推定精度は、 $H \sim Q$ 換算に用いた河道の横断形状・河床高と実際の洪水時のそれとがどの程度一致しているかによって決まるが、これを検討するデータはない。

実際の洪水時の河道横断形状・河床高のデータは、甲武橋地点だけでなく、計算区間ごとに必要であるが、これらが十分な質・量で整っていないのが実情であると考えている。洪水前・洪水後の平均河床高や最深河床高を比較すると、最深河床高については $300 \sim 500\text{m}$ にわたって $1.2 \sim 1.7\text{m}$ も変化している区間が認められ、平均河床高でも 1000m 以上にわたって 1m 程度も変化している区間が存在する。これらの測量結果を不等流計算にどのように取り込むのが妥当であり、計算精度の向上につながるかを判断する手懸りは明らかでない。さらに、最深河床高の縦断勾配が急激に変わる所や、平均河床高と最深河床高の差が大きい所では、流れの2次元性、3次元性の影響が無視できないと考えられるが、逆算法に用いる一次元あるいは準2次元の不等流計算ではこれらの影響は取り扱えない。

痕跡水位に関しても、かなり長い距離にわたって左岸と右岸の水位差が 0.5m 程度である区間が幾つか認められる。これらの違いも一次元あるいは準2次元の不等流計算には直接的には反映されない。

このように「逆算法」の計算法そのものが持つ適用性の限界、洪水時の河道状況データの質と量、およ

び流量の推定精度などを考慮すると、逆算法によって求めた「小さい方の粗度係数」の信頼性が河床材料に基づいて推定した「大きい方の粗度係数」より数段高いとは言えず、両者の信頼性がせいぜい同程度か、場合によっては前者の信頼が低いこともあり得ると考えられる。したがって、さらに複数の同規模の洪水について、できるだけ精度の高いデータから逆算粗度係数を算定し、それらの比較・検討を経て、その値の信頼性が確認されない限り、「安全」を基本とする河道計画においては「小さい方の粗度係数」を計画粗度として採用すべきでないとする。

(繰り返しになるが、ここでは、計画粗度係数は、「逆算法」、「河床材料からの算定法」のいずれの方法でも**一定の合理的根拠をもって求められている**ことを前提としており、今の場合は、たまたま「逆算法」による値が「小さい方の粗度係数」であった。したがって、もし「河床材料による方法」が「小さい方の粗度係数」であり、それを計画粗度係数として採用するなら、「河床材料による方法」の精度・信頼性が「逆算法」より数段高いかどうかを検討する必要がある。)

また、既に述べたとおり、粗度係数は河床・河道条件や出水規模・水理条件によって異なるので、「23号台風時の逆算粗度係数」が、より出水規模の大きい計画洪水時の粗度係数として採用できるかどうかについても慎重に検討する必要がある。この観点に関しては、「河床材料に基づく粗度係数」には、出水規模・水理条件の違いによる河床形状の変化（砂れん、砂堆、反砂堆などの形成、消滅）とその粗度としての効果が反映されていると考えられる。

[粗度係数の推定の関わるモニタリングについて]

河川水位の算定や流下能力の評価の精度は、計算に用いる粗度係数の推定精度に大きく依存している。したがって、粗度係数の推定に必要なデータを実際の洪水から収集することはきわめて重要である。しかし当然のことながら、粗度あるいは粗度係数そのものを洪水時に直接、測定・観測することはできないので、何らかの「流れの解析手法」に基づいて逆解析的に粗度係数を算定するのが一般的なアプローチであるとする。

逆解析に必要なデータは、少なくとも、計算区間のごとの水位と流量（経時データ）、出水前後の河道の横断形状（・・・H~Q換算の利用に耐えられるもの）と縦断形状（・・・河床勾配など）、河床材料と河床形状（・・・河床波の有無など）、植生状況、できるだけ密な痕跡水位調査データなどである。また、深さ方向及び川幅方向の流速分布が測定でき、データが得られれば、「多々ますます便ず」である。これらのデータを、一定規模以上の様々な洪水について、(多大な経費,労力があるものの)着実に収集、集積してはじめて、実洪水時の粗度係数が推定可能になると考える。