

2008. 03. 03

淀川水系流域委員会 宮本博司委員長殿

小松好人

基本高水決定についての詳細な提言

先日お送りした「淀川流域委員会の活動に思う」は、カバーリングレターとともに第 93 回運営会議の資料「委員および一般からのご意見」で取り上げていただきました。技術的な説明を省いた内容となっていますので、この機会に技術的説明を追加させていただきたいと思います。

1. はじめに

私は在阪の繊維会社と繊維専門商社に 45 年間の勤務経験があった元化学技術者で、河川工学は専門ではありません。しかし会社勤務中には品質管理、実験計画法などを利用する機会があったので、物事を統計的に考察することには多少の経験があります。この度の意見具申の内容は、河川工学を専攻したことの無い一般技術者の統計的知識をベースにしてなされていることを先ずお断りしたいと思います。

現在国交省の「河川砂防技術基準(案) 計画編」、それが改定された「河川砂防技術基準計画編」に基づいて決定された基本高水流量（以下基本高水）は、治水安全度に対して過大な数値になりがちであることに気がつき、その理由を考えて以下の結論に達しました。

学者ではありませんから学会への報告もしていませんが、一部の河川工学の先生方には失礼を省みずご意見も頂戴し、大筋では否定的な回答は得ていません。

以下に国交省の方針に基づいて、計画規模の雨量まで引き伸ばされた対象降雨からのピーク流量群の最大値を基本高水に決定すると、治水安全度に対して過大になることおよびその改善法についての持論を開示いたします。

2. 国交省の方針にしたがって決定した基本高水は何故過大になるか

計画規模の雨量確率から計算された計画雨量が高すぎるとか、収集された雨量データは信頼性に欠けるとか、流出解析に用いる貯留関数法の飽和雨量が不適切であるとか細かい理由まで考えるときりが無いのですが、本質的な理由は次にあると考えます。

(1) 計画規模の雨量まで引き伸ばして対象降雨を選出する際のサンプリングに問題がある

計画規模の降雨は現実的にはほとんど経験されていないので、実際の雨量を計画規模の雨量まで引き伸ばすことは避けられない手法と考えます。引き伸ばし操作はもとの降雨の降雨波形を対象降雨時間に限って引き伸ばしますが、降雨波形が確率分布していると考えると基準化することによって降雨波形の特性は保たれると思います。単純に引き伸ばし率が高いとピーク流量が大きくなるとは必ずしも言えません。

サンプリングの観点から考えると、引き伸ばされた対象降雨は標本空間に、発生が予想

され計画雨量に相当する降雨は母集団空間に属します。そして標本空間はできるだけ母集団空間に近い方が望ましいのは言うまでもありません。現状の引き伸ばし率 2 倍程度の制約があると、標本空間が母集団空間に近づけない状況を作りがちです。「改定新版 建設省河川砂防技術基準(案) 同解説 調査編」P65 で、試料の大きさ(サンプルサイズ)はできるだけ大きいことと解説している主旨と一致しません。できるだけ大きくするためには引き伸ばし倍率は 2 倍程度にこだわらずに更に大きくすべきであり、大きく引き伸ばされた対象降雨からのピーク流量群の平均値、標準偏差、ひずみ、とがり、変動係数を考慮して、引き伸ばし率の上限を決定する段階的サンプリングを提案しています。平均値が最大を示すことが確認された時点でサンプリングを打ち切れればよいので、その際には標準偏差、ひずみ、とがりなどが補助情報になります。この段階的サンプリングにより、標本空間が母集団空間を過度にカバーすること(overfitting)が起きることは否定できませんが、それは基本高水の決定に対して何らかの安全率を見たときと割り切れれば済むことだと考えます。

引き伸ばし率を 2 倍程度に制限しても、まったく偶発的な要因により標本空間が母集団空間にかなり接近することはあります。その場合はピーク流量群の最大値を基本高水に決定すると治水安全度の面から明らかに過大になります。一方同じく偶発的な要因で標本空間が母集団空間から遠い場合は、ピーク流量群の最大値を基本高水に決定してもそれほど過大にはならないのです。治水安全度に見合う基本高水が過大になっている長野県浅川の事例は前者に相当し、河川整備基本方針検討小委員会で検討される一級水系の事例の多くは後者に相当します。

治水安全度に見合う基本高水が過大であるとの意見に対して、「国交省の方針にしたがって全国的に採用されている方法で決定した基本高水であるから、治水安全度に見合う基本高水として過大であるはずがない」との河川管理者側の回答を聞きますが、まったく偶発的な要因で過大になることも適切になることもあることを理解すべきです。

(2) ピーク流量群の最大値を基本高水に決定している

適切にサンプリングされた引き伸ばされた対象降雨から流出解析して得られたピーク流量群のどれを基本高水に決定するかは選択の問題と言われますが、治水安全度に見合う基本高水の決定は選択とは言えないと考えます。むしろ治水安全度の決定が選択の問題であると言うのが正しいと考えます。

ここで先ず雨量確率、流量確率、治水安全度の定義を再確認します。雨量確率は平均して何年に一度降雨が発生するかにかかわる確率です。また流量確率は平均にして何年に一度の洪水が発生するかにかかわる確率です。治水安全度はあるピーク流量を基本高水に決定した際のその基本高水の流量確率と言えます。過去の国交省の方針では、計画雨量まで引き伸ばされた対象降雨からのピーク流量群のどのピーク流量の流量確率も雨量確率と同じであるとされてきましたが、それは正しい説明ではありませんでした。ピーク流量群は最小値から最大値まで確率分布しています。国土技術研究センターから配布されている水文統計ユーティリティで採用されているような種々なる確率分布で表現され、超過確率で

表現される発生頻度は平均値で最も高く一様ではないのです。

長岡技術科学大学の陸先生は、1000ケの降雨量とランダムカスケードモデルで発生させた1000ケの降雨波形を組み合わせて100万ケのハイドログラフを得ていますが、それらはほぼ対数正規分布で表現される確率分布を示して一様分布はしていません。この結果から計画雨量まで引き延ばされた対象降雨からのピーク流量は一様分布でなく確率分布していることは間違いのないところです。よってピーク流量群のどのピーク流量を基本高水に決定しても、その治水安全度は雨量確率と同じであるとは言えないのです。ましてピーク流量群の最大値を基本高水に決定して、その治水安全度が雨量確率と同じであるとはまったく言えません。最近国交省の指導ではピーク流量群の最大値を基本高水に決定した場合に、計画規模の雨量確率の降雨で発生する最大のピーク流量と言うだけで、その治水安全度には言及していません。治水安全度が曖昧なまま基本高水が一人歩きしている状態です。

国交省の最近の方針では、計画雨量まで引き伸ばされた対象降雨について、流出解析して求められたピーク流量群について時間的、地域的に不都合と思われるピーク流量を棄却して、残ったピーク流量群の最大値を基本高水に決定することをデファクトスタンダードとしているようです。時間分布の棄却は短時間雨量の超過確率が計画規模の雨量の超過確率を大きく下回る場合に実施していますが、それなら棄却後のピーク流量群の最大値も超過確率から棄却の対象になることもあり得ます。この棄却操作は、ピーク流量群の最大値を基本高水にすると、偶発的な要因で治水安全度に見合う基本高水が過大になることを防ぐ手段として取られた苦肉の策と判断できます。地域分布による棄却は判断基準に一貫性がなく、恣意的な棄却が行われる可能性が大です。

3. 合理的な基本高水の決定方法

しからばどのような手段で治水安全度に見合う基本高水を決定すべきでしょうか。既に国交省は平成9年に改定した「改定新版 建設省河川砂防技術基準(案) 同解説 調査編」P64の確率年の定義でその手がかりを与えています。

確率年の算定式は、洪水の場合に限定すると、

$$T_u = 1/(m \cdot P(X_u)) = 1/(m \cdot (1 - F(X_u)))$$

ここにおいて、

T_u は水文量の特定の値に対応する確率年、この場合は最大流量が対象です。

$P(X_u)$ は水文量が X_u に等しいか、それを超える値が生起する確率（これを X_u の超過確率とよぶ）です。

$F(X_u)$ は水文量が X_u に等しいかそれを超えない値の生起する確率（これを X_u の非超過確率または累積確率とよぶ）です。

m は算定に用いた試料の年間平均生起度数であります。

この式は簡単に書き直すと、

$$\text{確率年} = 1 / (\text{雨量確率} \times \text{ピーク流量の超過確率})$$

となり、確率年の逆数が流量確率になります。

適切なサンプリングを前提に、計画雨量まで引き伸ばした対象降雨について棄却をしないで流出解析して求められたピーク流量群のそれぞれのピーク流量について、上記確率年の式から流量確率を計算し適切なピーク流量を基本高水に決定することで目的が果たせます。ある流量確率に見合うピーク流量を基本高水にすると、その流量確率はその基本高水の治水安全度になります。確率分布として正規分布を想定することは、ピーク流量が極めて大きな領域を問題にしない限り妥当であり、その場合ピーク流量群の平均値の超過確率は0.5ですから流量確率は雨量確率の1/2になり、平均値を基本高水に決定すればその治水安全度は雨量確率の1/2になります。したがって計画規模の確率年が100年の場合、すなわち雨量確率1/100の場合治水安全度は1/200となります。基本高水の選択ではなく治水安全度の選択であると主張する所以はここにあります。

雨量と流量を変数とする二次元確率変数で議論すると、雨量の条件付確率として流量をとらえて流量確率を計算していることとなります。周辺確率として計算しても流量確率は求められますが手間がかかり実用的ではありません。そして周辺確率の1/2が流量確率になるようです。

計画雨量まで引き伸ばした対象降雨から流出解析して求めたピーク流量群から基本高水を合理的に決定する方法は上記の通りですが、サンプリングの手間を考えたら引き伸ばした対象降雨に限定して流出解析せずに、過去の年最大雨量から流出解析して得られる年最大流量からの流量確率より治水安全度に見合う基本高水を決定する方法も有用であると考えます。

国交省も基本高水の検証には実測流量による流量確率を利用していますが、実測流量の収集が不十分な河川については前述の再現流量による流量確率も有効に利用すべきであります。貯留関数法などの流出解析の精度から考えると、引き伸ばして得られたピーク流量群についての流量の精度と再現流量についての流量の精度は同じレベルとしてよいと考えます。実測流量からの流量確率にしても、流域の環境（森林の保水力、流域の都市化など）が保たれている前提が必要で、実測流量の普遍性、一貫性については万全ではありません。

尚再現流量の流量確率の計算では、年最大雨量が必ずしも年最大流量を与えるとは限らないので、年最大雨量については第二第三の年最大雨量を考慮する必要はあります。過去においては流出解析には時間がかかったようですが、最近ではパソコンで国土技術研究センターから配布されている流出解析シミュレータを利用すれば、30年以上の年最大流量からの流量確率の流量の計算でも手間はかかりません。むしろ再現流量から流量確率を決定する方は今後もっと重用されてもよいと考えます。

国土技術研究センターが配布している水文統計ユーティリティによれば、雨量確率も流量確率も同じプログラムを採用しています。雨量確率の計算では、過去においては適合度の高い確率分布の一つ採用していました。また雨量確率に見合う確率雨量が大きくなるような確率分布の採用もあったようです。最近では正規分布の変動係数に相当するSLSC(99%)が0.04以下の確率分布の確率雨量の平均値を使っています。この方法は適合度

の高い確率分布を一つ採用するよりいわゆるロバスト性が高いと思われ妥当であると考えます。

一方実測流量からの流量確率については、専ら検証の目的とは言え治水安全度に見合う確率分布の確率流量の範囲にのみ注目し、基本高水がその範囲内におさまれば検証ができたとしているだけです。ここで流量確率をもっと積極的に利用し、検証目的でなく直接治水安全度に見合う基本高水の決定に使うことを提言しています。雨量確率と同じ手法でSLSC(99%)が0.04以下の確率分布の治水安全度に相当する確率流量の平均値を基本高水に決定するのです。この際も適合度の高い確率分布を一つ採用して基本高水を決定するのは望ましくないようです。浅川の事例でプロットイングポジションのパラメータ α を変えて確率分布のSLSC(99%)の変化を調べましたが、SLSC(99%)が最小である確率分布は α によって変わり安定性が不足のようです。一方SLSC(99%)が0.04以下の確率分布の確率流量の平均値はほぼ一定でロバスト性があるようです。重回帰分析で寄与率の低い説明変数を取り込むと相関係数は大きくできますが、その相関式の普遍性、一般性が欠けてくるのと同じ現象に思えます。

実測流量からの流量確率について、積極的に治水安全度に見合う基本高水の決定に利用すべきと考えていますが、再現流量による流量悪率についても同様に考えます。今後は計画雨量まで引き伸ばした対象降雨から求めたピーク流量群について治水安全度に見合う基本高水を決定する方法よりも、再現流量による流量確率を利用する方法が推奨されてしかるべきと考えます。を少なくともサンプリングの問題と棄却の問題は考慮する必要はなくなります。

4. おわりに

以上の合理的な基本高水の決定法の説明で前回の意見書での、

- (1) ピーク流量群の平均値の治水安全度は1/400であると推定すること
- (2) 流量確率の確率流量の平均値の治水安全度が1/200であると推定すること
- (3) 確率分布の平均値から基本高水の治水安全度は実は1/400以下であると推定すること

の技術的な理由が説明できたと思えます。

淀川本流については、計画雨量まで引き伸ばした対象降雨から求めたピーク流量群から基本高水を決定することは現実的でないでしょうが、実測流量からの流量確率については検証目的を離れて更に積極的に検討すべきと考えます。また計画雨量まで引き伸ばした対象降雨から求めたピーク流量群から基本高水を決定する改善法については、多くの支流で参考にさせていただきたいと考えます。

以上