

不確定な水位流量曲線の修正の試み

The Modification of Uncertain Stage-Discharge Curves

忠北大学校農科大学 李 淳赫 S.H.Lee

京都大学防災研究所 角屋 睦 M.Kadoya

京都大学防災研究所 田中丸治哉 H.Tanakamaru

1. まえがき

三角堰などで計測されている試験地レベルの小流域を除くと、河川流量の推定は水位流量曲線を介して行うのが普通である。したがって精度の良い水位流量曲線の作成は、流出現象の解明や洪水予報、水資源計画上、必要不可欠のことであるが、現実にはこれが十分でないものも意外に多い。ここでは、韓国の3流域を対象として、この不確定な水位流量曲線の修正法を検討した例を報告する。

2. 対象流域と解析資料

2.1 対象流域の概要

対象流域は、韓国の漢江上流の梨木亭 (Iee Mok Jung) 流域、錦江上流の山城 (San Seung) 流域、梨坪 (Yi Pyeong) 流域で、流域面積はそれぞれ 44, 49, 76 Km^2 である。山城流域は梨坪流域の上流部に位置しその部分流域となっている。流域の概要を図1に示す。

2.2 解析資料

降水量資料には、梨木亭流域では桂芳 (Gye Bang) において、山城、梨坪流域では泥院 (Yi Weon) において観測された日降水量記録および洪水時の時間降水量記録を用い、これらを流域平均降水量として扱う。また流量資料には、各流域下流端で観測された1日1回の定時観測水位記録および時間水位記録（おもに洪水を含む期間）を水位流量曲線で流量変換したものを用いる。日流出高の計算には、時間水位記録を優先して用いるが、それが無い場合は定時観測水位から求めた流量を日平均流量として代用する。

なお、後述する流出モデルの適用では、蒸発散量および積雪量、融雪量の推定が必要となるが、ここでは、各流域近傍の気象観測所の日平均気温を利用して、流域平均標高に対応する気温を求め、Hamon式¹⁾より日蒸発散量を推定して、その月平均を採用した。積雪量、融雪量の推定には菅原の方法²⁾を用いた。

解析期間は、梨木亭流域では1983年1月～1984年12月の2年間とし、山城、梨坪流域では1983年1月～1985年9月の2年9ヵ月間とする。

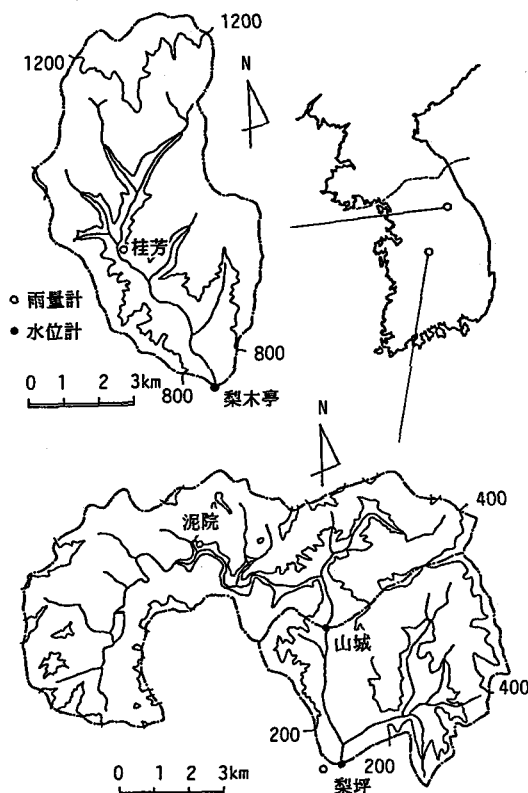


図1 対象流域の概要

3. 問題の所在

これらの3流域では、 $Q=aH^b$ あるいは $Q=a(H+b)^2$ の形の水位流量曲線が流量の直接観測結果に基づいて最小二乗法で定められていたが、これらの曲線を用いて年間流出量を求めると、表1に示すように観測流量（修正前）が降水量の2～3倍という意外な結果が得られた。流域近傍の他の雨量計の観測値や対象流域を含むこの地方の平均的降水量などからみて、前述の当該流域の降水量観測値は、

特に過少とも思えないので、各流域とも観測流量が著しく過大に見積られている可能性が高いのではないかと考えた。そこで、とにかくその原因を探るため、長短期流出両用モデル³⁾⁴⁾（図2、詳細は補遺参照）に各流域の降水量および蒸発散量を入力して流出量を算定し、観測流量との対比を試みた。ここでは、滋賀県愛知川上流部の永源寺ダム流域（132km²）において同定されているモデル定数⁵⁾（図3）をそのまま利用することとし、各タンクの初期水深は、1983～1984年の2年間について水収支がほぼバランスするよう、試算により定めた。

この流出モデルから得られた計算結果を表1に示す。これらの値に比べると、各流域とも観測流量（修正前）の年総量は明らかに大きく、計算流量の3～5倍となっている。図7に示すハイドログラフの比較例からも同様な傾向がうかがえるが、特に低水部が著しく過大になっていることが注目される。一方、水位流量曲線の作成に用いられた流量の直接観測結果（後述する図4～6参照）を調べてみると、低水部の資料がほとんどなく、このため水位流量曲線の低水部は外挿推定で求められていることが分かった。これらのことから、

「観測流量が著しく過大になるのは、さきの水位流量曲線に問題があって、特に低水流量が過大に算定されているため」と判断し、以下のようにして水位流量曲線の修正を考えることにした。

4. 水位流量曲線の修正法

精度の良い水位流量曲線を作成するためには、河道断面を十分正確に測量し、低水時を含む流量観測を現地でやり直すことが正攻法であるが、調査が簡単にできる状況ではない。そこで、現有の情報のみを利用してできる次善の方法として、ここでは、高水部については、流量の直接観測の結果を尊重しつつ、不確定な低水部については、さきの計算流量を参考にして、試行錯誤的に曲線の修正を繰り返すという方法を考えた。その具体的な手順は次の通りである。

① まず図4～6のように両対数紙上に計算流量と観測水位の関係をプロットし、さらに同じグラフ上に流量の直接観測結果をプロットする。ここに、計算流量とは、永源寺ダム流域のモデルで得られた日平均流量で、観測水位とは、その日の定時観測で得られた水位である。ただし、前日および当日が無降雨で水位が安定している日のデータのみをプロットした。

表1 年間水収支（mm 単位）

流域	年次	降水量	観測流量		計算流量
			修正前	修正後	
梨木亭	1983	1367	2928	1019	1074 (4)
	1984	1535	3179	1264	841 (7)
山城	1983	1202	2420	575	628 (29)
	1984	1143	3010	871	605 (44)
梨坪	1983	1202	2559	946	678 (3)
	1984	1143	1857	607	613 (6)

()は流量欠測日数で、観測・計算流量は欠測を除いた値

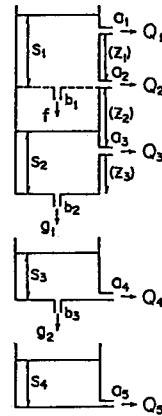


図2 モデル構成

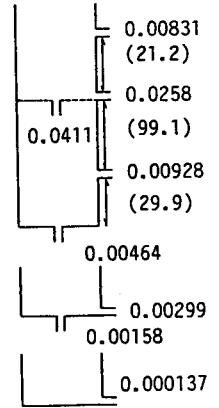


図3 永源寺ダム流域の定数(mm/h)

② 水位流量曲線の関数形として、 $Q=a(H+b)^c$ を考え、さきにプロットした2種類のデータを同時に満足する曲線の係数を試行錯誤的に探索する。ただし、係数 c は、河道断面の物理的意味を考慮して1.5~3.0の範囲とした。

③ 得られた水位流量曲線を用いて流量を求め、水収支的に矛盾がなく、かつハイドログラフの波形に不自然な点がないかどうか確かめる。問題がある場合は②に戻ってさらに係数の探索を繰り返す。

図4~6に修正に用いたデータと得られた修正曲線を併示する。山城、梨坪流域では1曲線によるあてはめが難しく2曲線を連結した形式を採用した。特に梨坪流域の曲線は低水位部に屈折点があり、河道断面の形状が水位0.3m付近で急に変化しているためと考えられる。表1には、観測流量(修正後)を示すが、水収支的にみてほぼ妥当と思われる値が得られている。

5. 流出解析結果

以上のようにして修正した流量資料を用いて、3流域の長短期流出両用モデルの最適同定を試みた。ここでは、最適化手法にはSP法⁶⁾を、最適定数を得るための評価基準には χ^2 -誤差基準を採用した。また探索の初期値には、さきの解析

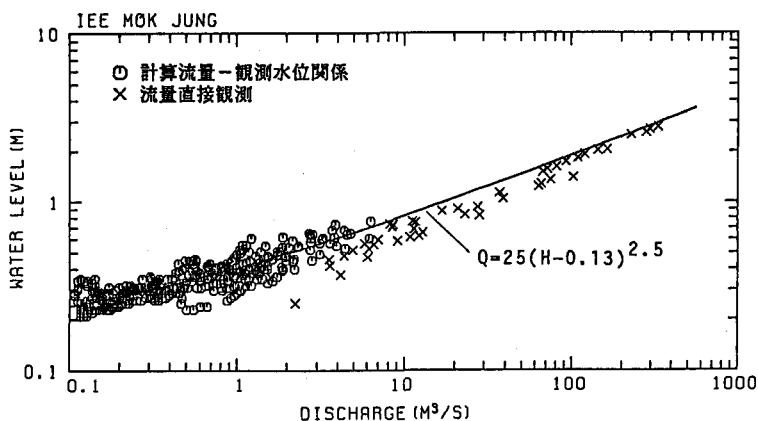


図4 水位流量曲線の修正(梨木亭流域)

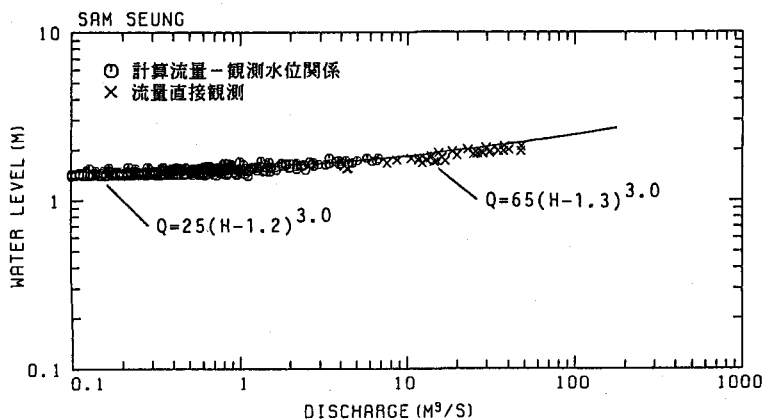


図5 水位流量曲線の修正(山城流域)

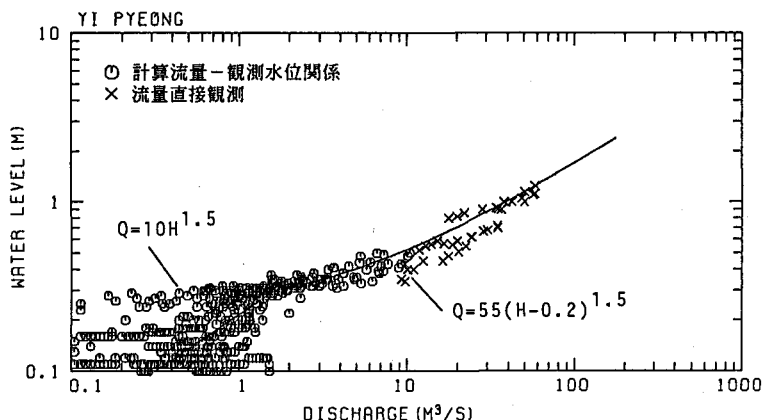


図6 水位流量曲線の修正(梨坪流域)

で用いた永源寺ダム流域の値を利用した。梨木亭流域では全データ期間を同定期間とし、山城、梨坪流域では、最初の2年間を同定期間として残りの9ヵ月間は検証期間とした。

解析資料そのものにはかなり不確定な要素が含まれていることもあって、最適値への収束性は必ずしも良好とはいえず、すべての定数を同時に探索すると非現実的な値に収束する場合もみられた。そこで、最終的には3～5個の未知定数を選びながら段階的に同定するという方法を採用した。

得られたモデル定数は、当然のことながら、いずれも永源寺ダム流域のそれに近い。従って、いまのところ各流域の特性を議論することは難しい。日流出高の相対誤差を1983～1985年の年別平均で見ると、梨木亭流域で41.64%、山城流域で44.40.38%、梨坪流域で30.75.36%となり良好とはいえないが、解析資料の精度からみてこれが限界に近いと思われる。図8に計算結果の一例を示す。このときの相対誤差は44%で

あるが、ハイドログラフを見る限り再現性は悪くなく、修正された観測ハイドログラフも図7に示した修正前のそれに比べてかなり自然な波形となっていることが分かる。

6. あとがき

本研究では、流量の直接観測結果と流出モデルによる計算流量とを併用した不確定な水位流量曲線の修正法を提示した。さらに、韓国の3流域への適用を試み、水収支からみてほぼ妥当な流量資料を得ることができた。水位流量曲線は、現地での流量観測を繰り返して作成すべきことは言うまでもないが、不十分

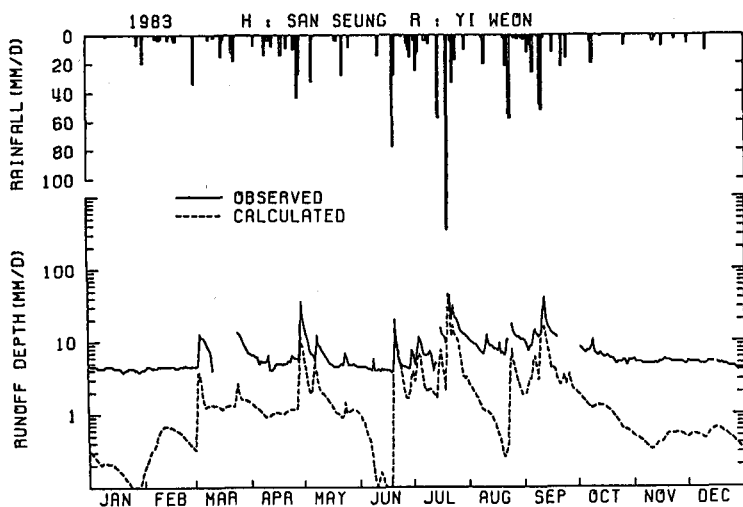


図7 観測流量と計算流量の比較(山城流域)
(観測流量:修正前, 計算流量:永源寺ダム流域のモデル)

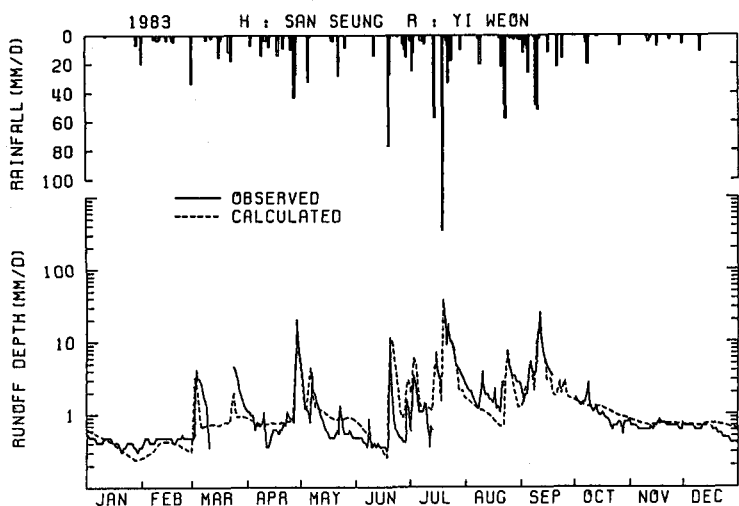


図8 長期流出解析の例(山城流域)
(観測流量:修正後, 計算流量:最適同定後のモデル)

な資料しか入手できない悪条件下では、ここで提示した修正法も有用と思われる。

このような観測精度に関連する問題は、世界各国どこでも見られ、日本国内でもその事例は決して少ない。特に、観測組織がまだ十分に整っていない開発途上国では、その対応が難しいだけに、ここで得た成果は一つの示唆を与えるものと考えられる。

なお、計算には京都大学大型計算機センターの FACOM M380, M382, M780/10 を利用したことを付記する。

補遺：長短期流出両用モデル

このモデルは、洪水時の有効降雨を自動的に推定でき、かつ、洪水・低水流出を同時に連続して扱えるように開発改良されたもので、その構造は、図2のように3段のタンクで構成され、1段目は上層と下層に分れている。各タンクの基礎式は次式で表される。

$$\begin{aligned} dS_1/dt &= r - f - Q_1 - Q_2 & Q_1 &= a_1(S_1 - Z_1)^m, \quad m = 5/3 \\ dS_2/dt &= f - Q_3 - g_1 & Q_2 &= a_2 S_1, \quad f = b_1(Z_2 + Z_3 - S_2) \\ dS_3/dt &= g_1 - Q_4 - g_2 & Q_3 &= a_3(S_2 - Z_3), \quad g_1 = b_2 S_2 \\ dS_4/dt &= g_2 - Q_5 & Q_4 &= a_4 S_3, \quad g_2 = b_3 S_3 \\ & & Q_5 &= a_5 S_4 \end{aligned}$$

ここに、 $S_1 \sim S_4$ ：貯留量、 r ：降雨強度、 f ：浸透強度、 g_1, g_2 ：下段タンクへの供給量、 $Q_1 \sim Q_5$ ：流出成分、 $a_1 \sim a_5, b_1 \sim b_3$ ：定数、 $Z_1 \sim Z_3$ ：流出孔の高さ。

また、蒸発散に伴う貯留量の減少強度 E には、次式を採用する。

$$\begin{aligned} E &= \alpha E_p = E_1 + E_2 + E_3 \\ E_1 &= \gamma \theta E, \quad E_2 = (1 - \gamma)E, \quad E_3 = \gamma(1 - \theta)E \\ \theta &= 1; S_1 > 0 \text{ or } S_2 \geq Z_3, \quad \theta = S_2/Z_3; S_1 = 0, \quad S_2 < Z_3 \end{aligned}$$

ここに、 E_p ：蒸発散能、 $E_1 \sim E_3$ ：各タンクからの蒸発散量、 γ ：振り分け比で、 $\gamma = 0.6$ が常用されている。 α は係数で、本研究では、降雨日は無降雨時間帯も $\alpha = 0$ 、無降雨日には $\alpha = 1$ を採用した。

このモデルでは、各タンクの微分方程式を改良Euler法で数値的に解く。ここでは、計算時間刻み Δt として、 $r = 0$ かつ $S_1 = 0$ のとき $\Delta t = 24$ 時間、 $r > 0$ または $S_1 > 0$ のとき $\Delta t = 1$ 時間を採用している。

参考文献

- 1) Hamon, W.R.: Estimating Potential Evapotranspiration, ASCE, HY3, pp.107~120, 1961.
- 2) 菅原正巳：流出解析法，共立出版，1972.
- 3) 永井明博・角屋 睦：長短期両用貯留型流出モデルとその最適同定，京都大学防災研究所年報，26B-2，pp.261~272，1983.
- 4) 角屋 睦・永井明博・塚本浩二：長短期流出両用貯留型モデルの基礎的検討，土木学会第39回年次学術講演会講演概要集第2部，pp.51~52，1984.
- 5) 角屋 睦・永井明博：永源寺ダム流域の長短期流出解析，昭和60年度科学研究費（総合(A)）研究成果報告書「洪水濁水比流量の地域特性に関する研究」（代表：角屋 睦），pp.95~118，1986.
- 6) 永井明博・角屋 睦：流出モデル定数の最適化手法，京都大学防災研究所年報，22B-2，pp.209~224，1979.