

## コウ水の到達速度に関するいわゆる Rziha の公式と Kraven の表の由来について

井 口 昌 平\*

### まえがき

雨量や流出量についてくわしい記録が得られないような条件のもとで、河川のコウ水の最大流量を求めようとするときに、「Rziha の公式」と呼ばれているものが現在でも使われている。この公式が日本で広く使われるようになったのは、もはやかなり前のことであり、おそらく 15 年以上前のことであると推定される。そのように前のことであつたためでもあり、そしてまた反対にそれにもかかわらず、この公式がどのような文献によつており、どのような条件のもとで作られたかというようなことなどについては、いまではほとんど知られていないようである。さらにまた、この公式は現在日本で行われている河川工学の教科書やハンドブックにはほとんどどれも載せられているが、近年のヨーロッパやアメリカの文献でわれわれが目にするところのものは、これが載っているもの、これについていよいよおんでの見ない。これらの事情を頭において、筆者はいくつかの文献によつて、この公式の由来を尋ねてみた。その結果 Rziha の公式と呼ばれているものは誤つてそのように名づけられたものであり、正しくは「バイエルン地方の公式」と呼ぶべきものであることがわかつた。

また、この公式とならんでしばしば「Kraven の与えた表」というものがかかげられているが、これについても誤りがあり、これがむしろ Rziha の与えたものであることがほぼ明らかになつた。

調べはまだ完全に満足のゆけるものではないが、結果はほとんど信頼できると考えるようになったので、これまでにわかつたことを読者にお伝えしたいと思う。

ここでは、これらふたつの公式と表についての文献上の調べだけを述べ、これらの内容の意義や適用の可能性などについての意見は述べない。

### いわゆる Rziha の公式

1933 年に発行された物部教授の「水理学」の初版(文献 1)) を初めとして、多くの教科書はハンドブックに Rziha の公式としてあげられているのは、次のものである。すなわち、河川の上にあるひとつの地点と、その流

域の中の最も上流にある地点との間の、水平距離を  $l$ 、落差を  $H$  とし、コウ水のその区間の中の平均到達速度を  $w$  として、

$$\left. \begin{aligned} w &= 20 \left( \frac{H}{l} \right)^{0.6} \text{ (m/s)} \\ \text{または } w &= 72 \left( \frac{H}{l} \right)^{0.6} \text{ (km/h)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

公式というものは、方程式や図表や表やカ条書きによるふたつ以上の事象の間の関係の記述から成立しているが、さらに適用の条件が添えてあることが必要である。しかし、この公式については、福田秀夫氏が文献 2) の中で、「日本内地の河川についてこの公式で計算すると伝播速度が一般に小さく、したがつてコウ水の到達時間が大きくなる」と書いておられ、その後に見られた文献にも同様のことが述べられているだけである。

現在われわれが容易に手にすることのできる本で、これらふたつの公式と表とを載せているものは、物部教授の本 1) 以外は、おそらく直接か間接かいずれにしても 1) によつていものと推察される。文献 1) が発表されたのは 1933 年だが、この大著作の原稿は約 10 年かかつて、すなわち 1920 年代の始め頃から準備されたものであるといわれている。それよりもさらに 10 年ばかりさかのぼる 1911 年に Leipzig で文献 3) が出版されている。これはきわめて大規模な土木技術ハンドブックの中の 1 冊である。それまでに得られていた知識をあますところなく盛り込もうというような、いかにもドイツ人らしい企画でこのハンドブックは作られたものらしい。この文献 3) の中に、当時までの雨量と流出量との間の関係についての研究が Bubendey によつて刻明に紹介されている。ここで取上げた公式もその例にもれていない。

いわゆる Rziha の公式そのままの形ではないが、よく似た形で、実質的には同等な公式が「バイエルンで使いられている公式」として紹介されている。すなわち、「これらの速度は、たとえば上にあげた Rziha によつて与えられた数値、またはバイエルンで使いらされている次の公式

$$w = 20 \sin^{2/3} \beta$$

などによつて決めることもできよう。[Die Geschwindigkeiten wären etwa nach den mitgeteilten An-

\* 正員 東京大学助教授 生産技術研究所

gaben von Rziha oder auch nach der in Bayern gebräuchlichen Formel  $w=20 \sin^{2/3}\beta$  zu bestimmen] としてある。 $\beta \equiv \arctan(H/l)$  と  $\beta$  が定義されているのはいうまでもない。この文章の中の「Rziha によつて与えられた数値」については次の章で述べる。

この文献が明らかにしているとおり、この公式は 1899 年に文献 4) の中に発表されている。しかしそれは雑誌の編集者が技術の紹介として書いたものらしく、そこには発表者の名前はまだ H. と出ているだけである。この雑誌ではそのように執筆者の名前が略号で表わされることが多い。その頃この雑誌の編集責任者のひとりに Albert Hofmann という人があつたが、この場合 H. というのがその人をさすのかどうかはわからなかつた。この公式はこの文献の中ではきわめて簡単に「この速度は全く近似的に  $w=20 \sin^{2/3}\beta$  と置くことができる」という文章で持出されている。ただし、この公式の指数 2/3 が印刷の手違いであり、実は 3/5 でなければならぬことは、この式のすぐ後に出てくる議論から見ても明らかであり、Bubendey もそのことを指適している。

この公式は、コウ水到達速度を与えるものとして独立に出ているのではなく、降雨継続時間  $t$  (時間) と降雨強度  $h$  (mm/s) との間の関係を示す公式

$$h = \frac{240}{3+2t}$$

および一種の流出係数  $\sin^{1/3}\beta$  と組合わせて、次のようにして最大流量を求める方法のうちのひとつの手段として出ている。すなわち最大流量  $Q$  (m<sup>3</sup>/s) は、流域面積  $f$  (km<sup>2</sup>)、谷の長さ  $l$  (km) および  $\beta$  によつて

$$Q = f \frac{2400 \sin^{1/3}\beta}{l+108 \sin^{2/3}\beta}$$

と表わされている。

この降雨強度の公式については、これはバイエルンにおける「比較的小さい」流域に対して適用されるということ、またこれはバイエルンでは疑いなく最大値を与えるということが述べられている。

コウ水流量を与えるこの公式については、これがまれにしか実現しないような極端に大きい値を与えることと述べられており、そもそもこの方法は鉄道や道路のカルバートの水通し断面の大きさをきめることを目的として、コウ水の最大流量を雨量を手がかりとして求めるために考えられたものであるのに、執筆者は実際にカルバートを設計するときにはこの公式の与える流量の 1/2 か 1/3 を取るようにすすめるといつている。

### いわゆる Kraven の表

文献 1) を始めとして、現在容易に手にはいる教科書やハンドブックの多くに、いわゆる Rziha の公式と並んで、流域の地形からコウ水の到達速度を与えるものと

して、次の表

$H/l$ が 0.01 以上のとき	$w=3.5$ m/s
$H/l$ が 0.01 から 0.005 のとき	$w=3.0$ m/s
$H/l$ が 0.005 以下のとき	$w=2.1$ m/s

が Kraven の提案によるものとして載せられている。この場合にも適用の条件、または範囲などについて書き添えてあるものが見当らない。

前の場合と同じように、1911 年の Bubendey のの本を見ると、「この点についてはすでに v. Kaven が架橋地点に期待される流出量の求め方をくわしく取扱つている。Rziha は 1876 年に次に掲げる数値を発表した」(In diesem Sinne hat v. Kaven die Bestimmung des an Brückenstellen zu erwartenden Abflusses eingehend behandelt. Rziha teilte 1876 die folgenden Angaben mit.) と書いてある。その表は前の章でちよつと触れたが、次のようなものである。

a) 地表が土であるか浸透性をもつものであるときには、降雨量の 0.4 から 0.5 が流出し、岩のときは 0.8 から 0.9 が流出する。

b) 河谷を流れ下る水の速度は、河谷のコウ配が 10% 以上のときは 3.5 m/s、5~10% のときは 3.0 m/s、5% 以下のときは 2.12 m/s と見ることができると思われる。

c) 豪雨の雨量強度は最大 0.016 mm/s と見積つてよいであろう。

d) 豪雨は限られた時間しか続かないし、断続的にしか起こらないものであるから、総降雨量の一部だけを取つて考慮すればよいと考える。そしてそれは次のとおりとする。

長さ 3 km までの谷では	0.0080 mm/s
長さ 3~8 km の谷では	0.0065 mm/s
長さ 8~12 km の谷では	0.0050 mm/s
長さ 12~15 km の谷では	0.0035 mm/s
長さ 15~18 km の谷では	0.0030 mm/s

ただし、これらの数は山岳地方に対してあてはまり、平地に対しては、その半分をとるものとする。

Bubendey は上に示した Rziha の与えた数値は一般に通用するとはいわれず、気候条件の違うところでは違う値を取るはずであると断つている。

上に示したのは Bubendey の文献 3) から取つたもので、Rziha の原文 5) はついに見ることができなかつた。日本交通協会の図書室でその文献が蔵書目録に載つていることを見出したが、その現物の所在が明らかでなかつたのは残念である。しかし、Rziha が 1876 年に発表したことと きわめてよく似たことが、すでに 1868 年すなわち明治元年に、文献 6) によつて Köstlin によつて発表されていることを確かめることはできた。

## 誤り伝えられた経路の推察

「バイエルンで使いらされた公式」は上に述べたように 1899 年に発表されたが、その文献は東大工学部土木工学教室の図書室にあるから、当時日本においても知られていたかもしれない。また、それを紹介した前記のハンドブックは日本に相当数輸入されたものと見てよいふしがある。したがって少くも 1911 年には日本において知られていたであろう。このハンドブックの 1911 年版は第 4 版であつて、この記述の部分は第 3 版から第 4 版に移るときに執筆者も変り、いちじるしく改められた。第 2 版の出版年度は確かめることはできなかつたが、1899 年よりも前であると推定してよさそうであり、ここに引用した記述は Bubendey によつて 1911 年に始められたものとしてほとんど誤りないと思う。なお、それは 1923 年の第 5 版では執筆者に H. Engels が加わつて受けつがれている。

いずれにしても、この公式のことは 1920 年代まであまり注意されずにきたようである。1928 年に久永勇吉博士が文献 7) の中で「できうるかぎり文献を徴したるも、Rziha 氏が Bayern 地方の河川に適するものとして与えたる次式  $w=20 \sin^{2/3} \beta$  を求め得たるに過ぎず」と述べておられるところを見ると、その頃おそらく始めてこの公式が目されるようになったのであろう。この発言から見ても、また久永博士が研究に使われたそのほかの多くの既知の公式を見ても、その際、例のハンドブックの第 4 版か第 5 版を参考にされたことは明らかである。そしてそのときにこの発言のように、公式の名前を取違えられたものと推定される。

久永博士は 1926 年から 1930 年までの間にこの「土木建築雑誌」に河川の流出に関する一連の研究を 9 回にわたつて発表されているが、その中でこの公式を日本の河川に適用した結果、それを

$$w=20 \tan^{2/3} \beta$$

の形、すなわち現在われわれの見なれている形にする方がよいといわれた。そしてこの形は 1926 年の論文 8) の中にすでに現われている。もつとも  $\beta=1/10$  のときでも  $\sin \beta / \tan \beta = 0.995$  であつて、しかも指数 0.6 のことを考慮すると、公式をこのように書きかえることは、普通斜面のコウ配は正弦ではなく正切で表現するから、

この方が親しみを増すというほどの意味があるのであらうかと思われる。

現在 Kraven の与えた表といわれているものは、上に述べたように実は Rziha の与えたものであることも、ほぼ確かであろう。この方はいつ、どのようにして誤り伝えられたか明らかではない。いずれにしてもこのふたつの公式と表に関しては Kaven (Kraven は誤り) の名は直接には関係がないようである。

## おわりに

筆者の初めに意図したのは、いわゆる Rziha の公式がどのような条件のもとで作られたかを求めることであつた。しかし、はからずもこれまで長い間この公式が誤つた名前では呼ばれていたことが明らかになつた。またその調べの間にいわゆる Kraven の表についても同様な結果が明らかになつた。筆者はそのために久永博士と物部教授の文献を引用しないわけにゆかなかつたことを悔む。

なお、これまでわが国の水文学の上で名前を広く知られてきた Rziha のことをこの機会に簡単に記しておく。Rziha は Franz Ritter von Rziha と言い、ボヘミアの人であり、生国のチエッコスロバキアのほかオーストリアとドイツの鉄道、ことに山岳鉄道の建設に従事し、トンネル掘削の技術に長じていた。後年ウィーン大学で教授の職につき貴族に列された。その名前は、かな書きで「ルデハ」と書いて読ませるのが最も適しているということになる。

## 参考文献

- 1) 物部長徳：水理学，岩波書店 1933
- 2) 福田秀夫：洪水調節，常磐書房，1942 p. 25/26
- 3) J.E. Bubendey：Der Wasserbau, III. Teil des Handbuchs der Ingenieurwissenschaften, 1. Bd.: Die Gewässerkunde, 4. Aufl., Leipzig, 1911, S. 610/612.
- 4) Zur Ermittlung der grössten Hochwassermenge kleiner Wasserläufe, Deutsche Bauzeitung, 33. Jahrgang Nr. 47 (1899), S. 298/299.
- 5) F.R. von Rziha：Eisenbahn-Unter-und-Oberbau, Wien, 1876, 1. Bd., S. 95.
- 6) Köstlin：Ueber Vorarbeiten zur Bestimmung von Brückenweiten, Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architektenvereins, 1868, S. 86.
- 7) 久永勇吉：流路の延長と洪水量との関係・付雨水の到達時間，土木建築雑誌，第 7 巻第 1 号 (1928)，p. 6.
- 8) 久永勇吉：集水面積の広狭と洪水量との関係，土木建築雑誌，第 5 巻第 5 号 (1926)

土木学会編  
委員長 福田武雄

## 土木工学ハンドブック

A 5 判 2240 頁  
総革装・クロス装

全巻 総革装 定価 3700 円 会員特価 3515 円 (送料各 80 円)  
クロス装 定価 3200 円 会員特価 3040 円

分冊 クロス装 上巻 1170 頁 定価 1800 円 会員特価 1710 円 (送料各 80 円)  
" 下巻 1100 頁 定価 1700 円 会員特価 1615 円

紙を螺旋状に巻きエンドレスパイプとした我国最初の新製品です。

規格表

(特許申請中)

内径(φmm)	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
内厚(φmm)	2.5	3.5	3.5	5.0	6.0	8.0	10.0	10.0	10.0	11.0	11.0	12.0

# フジチューブ

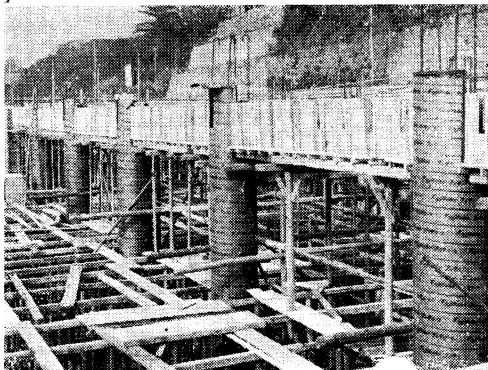
建築・土木の円柱建造に最適のもので  
す。フジチューブを立てその中にコン  
クリートを流し込むだけで正確な円柱  
が簡単に建造することが出来ます。

# フジボイド

スラブの軽量化に使用されます。  
スラブ又は壁体のコンクリート打ちの  
際、フジボイドをせき板とせき板の中  
間に排列し、その周囲にコンクリート  
を流し込み、いわば継目なしのコンク  
リートブロックを現場にて作成出来る  
副期的な製品です。

# フジエアダクト

従来より隧道用の空気調整用パイプは、鉄板製の  
ものが用いられていますが、非常に重く且つジョ  
イントに多大の手間  
を要しますが、フジ  
エアダクトを使用  
すれば軽量で取扱い  
易く、而も価格が極  
めて低廉であります。



東急サービスセンター

(東京・赤坂見付)



## 藤森建材株式会社

東京・東京都中央区日本橋通1の5 (中内ビル) TEL (28) 6271~2

大阪・大阪市西区土佐堀通1の1 (大同ビル) TEL (44) 0225・7569

(カタログ・見本進呈)

