

氾濫水の流動

木下武雄*

国立防災科学技術センター

Hydraulic Characteristics of Inundation Flow

By

Takeo Kinoshita

National Research Center for Disaster Prevention

Abstract

A serious inundation occurred due to the breaching of the left bank of Kokai River in Ibaraki Prefecture on 24 August, 1981. The fertile rice fields were covered with the inundation water. The author carefully observed the flow of the inundation and found the hydraulic characteristics such as the Manning's roughness coefficient and the storage-outflow relation. The roughness coefficient is calculated as within the range of 0.14 ~ 0.25 based on the assumption of an open-channel flow. It is about 20 times of that of the downstream channel. Two kinds of the storage-outflow relations, $S = 135q^{0.58}$, and $S = 152q^{0.6}$, are obtained where S is the volume of the inundation water and q is the outflow. S in the former is the integral value of the outflow q , while the latter is based on the assumption that the inundation flow is an open-channel flow with the roughness coefficient obtained above. They well agreed with each other. These results are very useful to make clear the hydraulic meanings of the inundation for flood control projects.

* 第1研究部

はじめに

沖積平野に大雨が降った場合、その水はいわゆる内水となって氾濫しながら流出して行く。河川の山地（上流）域に降った雨が河道を流れ下って来て、時として破堤などにより、田畑・居住区域等へ流れ込んで来た場合も同様に氾濫しながら流出して行く。このような流れの実態は氾濫による災害を防止する上でぜひ解明されねばならないが、実測資料も少く不明な点も多かった。昭和56年8月24日茨城県南部で水害があり、それによって幾つかのデータがえられたので、本報告ではそれを基に氾濫水の流動を解明しようとするものである。

1. 開水路としてみた氾濫水の流動

氾濫水を平たい開水路の流れと仮定して、これに開水路の抵抗法則（通常、マンニング(Manning)の粗度の公式を用いる）を適用して氾濫流出の解析・洪水追跡を行う試みがすでになされている。（末石富太郎 1955, 角屋睦・早瀬吉雄 1979, 木下武雄 1975）基本的な考え方は流量 Q が、水深 h 、川幅 w 、水面勾配 i 、マンニングの粗度係数 n によって $Q=(1/n)wh^{5/3}i^{1/2}$ と書けるとするものである。氾濫水の n は地表面状況に応じた常数で、河川において用いられる値の10～100倍ほどの値とされているが、いずれも、 h 、 w や i を仮定し、さらに Q も間接的に推定されているにすぎない例が多い。水深が浅い状態では、地形の凹凸、例えば自然堤防あるいは水田のあぜ、畑のうね等によっても支配断面が発生して何を勾配ととればいいのかもわからない流れ方をすると、水深が深ければそれら地表の凹凸はならされるが、流れは平面的な広がりとともに湾曲したりして、通常に言う開水路の流れとも違って来るであろう。このことは水深によって粗度係数など流れの水利的状态を表わす常数自体も変わってくるということである。確かな実測値を用いてそれらの常数がどんな数値になるのかを明らかにすることは必要なことで、昭和56年8月24日小貝川左岸の破堤により、偶然に確度の高い氾濫データがえられたので、その時の諸量を用いて粗度係数等の算出を行った。

この氾濫は茨城県竜ヶ崎市・利根町・河内村に及び、被害は住家床上浸水450棟、床下浸水864棟、り災世帯(災対法にいうり災)438、水田流失・埋没11ha、水田冠水2572ha、被災総面積3300haであったが、死者はなく、負傷3名のみであったのは不幸中の幸であった。この災害に関しては当センター主要災害調査報告第20号で報告している。

1.1 氾濫水の広がり

破堤箇所では急激な落差のある所は別として、本調査の対象はほぼ平坦で、所々に自然堤防があり、又道路の盛土などのある所なので、氾濫水は低い方へ流れる。主として流れは3つに分かれた（地名は図1参照）。

氾濫水の流動一木下

- (1) 竜ヶ崎市川原代町方面：地形的には上流側であるが、地盤高がT.P.3～4 m（以下標高・水位はすべてT.P.）^{注)}なのに対し、小貝川の水位が8～9 mほどあったとされているので、勿論、川原代町方向へも流れたが、流れは上流側自然堤防で止っている。
- (2) 論所排水方面：平常の排水の方向で、氾濫水の主流が流れた。この流れについて後に検討を加える。
- (3) 小貝川左岸沿いに豊田堰方面：豊田用水路及びそれに平行する排水路を経て利根町へ流れ込んだ。全体からみれば大きな流量ではない。

空中写真・現地調査等によると、写真1のように氾濫水はまず用・排水路を通して相当速く流れ下る。用水路からはその分水に従い、排水路においては支川へ逆流し、また水路壁の低いところを通して水は広がって行く。自然堤防・道路等があれば上流側に貯留されつつそれに沿って流れ、かつカルバート等をくぐって急速に下流に流れる。写真2のように遂には道路等を越流するが、通常その時は下流側の水位も上っているし、はじめは全面的に射流で流れても、やがて下流の水位上昇にともなって潜り堰のようになり、実質的には路面等が30～40cmぐらい冠水すれば水面は平坦になってしまう。氾濫水のおおよその流れの方向は論所排水と一致するが、空中写真から流れの紋様を詳しくみると、論所排水とは必ずしも一致しない（写真3）。

1.2 マニングの粗度係数

水田（多少の自然堤防・道路も含む）においてマニングの粗度係数を求めた。数時間ごと



写真 1 牛久用水が満流となり、人々の足もとにまで水があふれつつある状況を示す。竜ヶ崎市川余郷・直耐の間で8月24日11時に撮す。

Photo 1 The water was slowly spilling out from the drainage channel at the commencement of the inundation at 11:00, 24 August, at Ryugasaki.



写真 2 道路上を越流する氾濫水。千秋・万歳の間で、8月25日、16時に撮す。

Photo 2 The inundation water was flowing over the road at 16:00, 25 August. The road is a little higher than the rice field.

注) T.P. は東京湾中等潮位を0 mとして測った高さを言う。

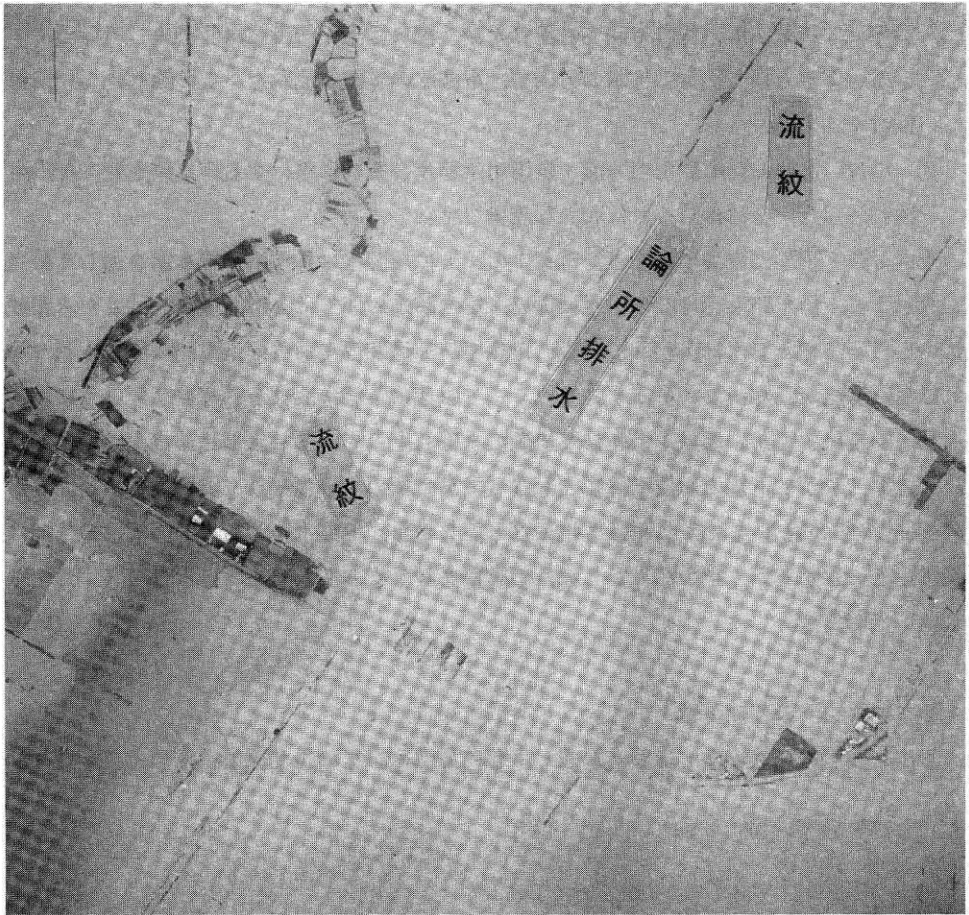


写真 3 空中写真，流れの紋様が論所排水と一致していないことに注意。

Photo 3 The acrophotograph shows that the inundation water did not flow along the drainage channel.

に空中写真が撮影されているのでその画像と国土地理院土地条件図「竜ヶ崎」とを対比して水位を求め、水深については当時の稲の草丈が約90cmであることから推定する。流水幅 w は空中写真の水面の紋様から死水域を決めて測った。流量は次の2つの方法のいずれかに拠った。

- (ア) 新利根川下流幸田橋（北河原より約19km下流）において測られた流量^{注)}を、時差（ $19\text{km} \div \text{幸田橋平均流速}$ ）を考慮して用いる。

注) この時の流量はプライス流速計又は三映式2型流速計を用いて流速を求め、横断面について積分して流量とした。

(イ) 氾濫水が広がりつつある時は(ア)の流量に、氾濫域の増加に寄与する流量を空中写真より推定して加える。

粗度係数算出を行った地域は図1のA、Bの両域である。

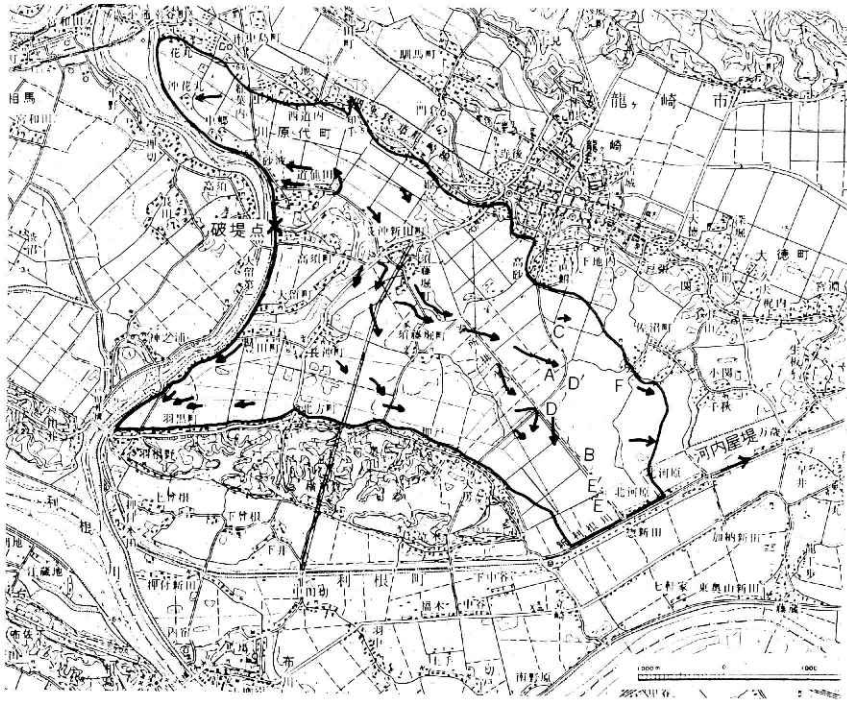


図 1 竜ヶ崎市内に氾濫し拡がりつつある流れの流向を示す。(国土地理院 1/50,000 地形図竜ヶ崎による) 24日16時現在

Fig. 1 The map shows the inundation area and flow directions at 16:00, 24 August.

(a) A域は道路をまたぐが、勿論完全に道路が水没している期間である。

(b) B域はほぼ論所排水沿いの地域で下流域には北河原の河内屋堤の跡がある。

これらを基礎として次の場合に粗度係数 n を $wh^{5/3}i^{1/2} \div Q$ によって求めた。ここで Q および Q を用いる場合必要とする時差は建設省関東地方建設局高水速報(昭和56年8月台風第15号)に拠った。

(1) 24日14時~16時 B域 水田冠水はじまり、氾濫域増加中。

$Q = 339 \text{ m}^3/\text{s}$: (イ)によりこの2時間にわたる氾濫域増加分より $241 \text{ m}^3/\text{s}$, 20時の幸田橋流量 $98 \text{ m}^3/\text{s}$ の和として求めた。立木締切水門より利根町方面へ逆流している分があるので実際の流量はもう少し多いかも知れない。

$i = 0.00082$ (14時のDの水位 3.6 m , E'の水位 2.7 m , $DE' = 1100 \text{ m}$ から、水位差÷距離により求める。他の場合もこの方法に準じて水面勾配を求める。)

$w=1250\text{m}$ 稲の完全に水没している範囲

$$h = 1.2 \text{ m}$$

$$\therefore n = 0.143$$

(2) 25日8時 A域 ピークはすぎたが水田全面冠水.

$Q = 170 \text{ m}^3/\text{s}$ (ア)により幸田橋12時流量, (1)と同様の逆流分はある.

$$i = 0.00070 \text{ (Cの水位 } 4.1 \text{ m, Fの水位 } 3.4 \text{ m, } CF=1000\text{m)}$$

$w=1200\text{m}$ 稲の完全に水没している範囲

$$h = 1.1 \text{ m}$$

$$\therefore n = 0.219$$

(3) 25日8時 B域 ピークはすぎたが水田全面冠水.

$Q = 170 \text{ m}^3/\text{s}$ (2)に同じ

$$i = 0.00024 \text{ (Fの水位 } 3.4 \text{ m, Eの水位 } 3.0 \text{ m, } FE=1650\text{m)}$$

$w=1500\text{m}$ 稲の完全に水没している範囲.

$$h = 1.1 \text{ m}$$

$$\therefore n = 0.160$$

(4) 27日10時 B域 農道は冠水しているが, 大部分の稲は水面上に頭を出している.

$Q=42\text{m}^3/\text{s}$ (ア)により幸田橋同日20時の流量. 立木締切水門よりの流出があるので, 流量はもう少し少いかも知れない.

$$i = 0.00064 \text{ (D'の水位 } 3.4 \text{ m, E'の水位 } 2.6 \text{ m, } D'E'=1250\text{m)}$$

$w = 750 \text{ m}$ 湛水の確認される範囲

$$h = 0.7 \text{ m}$$

$$\therefore n = 0.249$$

粗度係数は水田だけのB域では0.14~0.16~0.25と変化している。(4)の場合は明らかに水位が低く稲の頭が水面上に出ているので大きい値になっていると思われる。同時刻でやや地表条件の異なるA, B両域を比べると(2), (3)にみるように, 中に道路を含むA域の方が粗度係数がいくらか大きい。参考として幸田橋(霞ヶ浦から約6.6km)における新利根川の粗度係数を求めると次のようになる。氾濫流の粗度係数は最寄の河道の粗度係数の約20倍になっている。データの都合で河積 wh から水深(正しくは径深)を求めた。

(5) 25日1時30分 ピーク流量の時

$$Q = 229 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$i = 0.0000795 \text{ (幸田橋水位 } 0.80\text{m, 霞ヶ浦水位 } 0.275 \text{ m)}$$

$$wh = 111.95 \text{ m}^2$$

$$w = 42\text{m}$$

$$\therefore n = 0.0084$$

(6) 26日 5時 流量が減って $100 \text{ m}^3/\text{s}$ の時

$$Q = 101 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$i = 0.0000363 \text{ (幸田橋水位 } 0.59\text{m, 霞ヶ浦水位 } 0.35\text{m)}$$

$$wh = 103.13 \text{ m}^2$$

$$w = 42\text{m (推定)}$$

$$\therefore n = 0.0112$$

2. 氾濫水の貯留・流出関係

ある地域に貯留された水に補給・損失（具体的には雨量や新たな溢水，あるいは蒸発や浸透）がなく，すべて流出するならば貯留量 S は流量 Q によって

$$S(t) = \int_t^{\infty} Q(\tau) d\tau \dots\dots\dots (1)$$

とかける．幸田橋観測流量を Q として上式で求めた S との関係，いわば氾濫水の貯留関係が図 2 である．観測流量のゆらぎを消すための 6 時間ごとの平均流量を用いているので，3 時間のずれが導入されている．原資料は m^3 ， m^3/s の単位で求められるが，氾濫面積を 29 km^2 で一定と仮定して通常の流出計算に用いる単位 mm ， mm/h も記入してある． $Q < 60 \text{ m}^3/\text{s}$ のゆらぎは霞ヶ浦の潮汐による振動なのでそれを除き，あえて $S = kq^p$ (q : 流出高， $Q \div$ 氾濫面積) で表わせば $S = 135q^{0.58}$ (mm ， mm/h 単位) となる．破堤部の締切がほぼ終わった頃からの資料を用いている．普通に言う貯留関数に対応させて言えば減水部だけを用いている点に

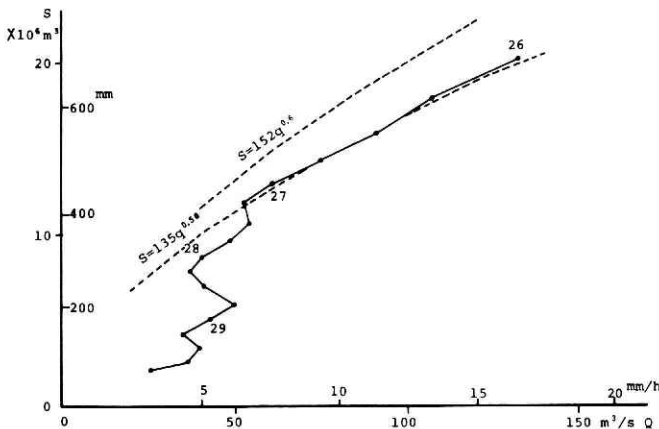


図 2 (1)でえられた S と Q との関係，図中の数字は日を示し，同日 0 時の位置に記した．比較のため (2)でえられた S と Q との関係も描く．

Fig. 2 The basic figure for determining the storage-outflow relation $S = 135q^{0.58}$ where S is the volume of the inundation and q is the outflow.

は注意されたい。平地の貯留関数は排水路の能力・下流条件で大きく影響されるもので、この例でも S 、 q ともに小さいところは考察範囲外ということである。

全氾濫域を幅広い長方形断面水路と仮定してマンニングの粗度公式が成立するとすれば

$$h = (nQ/(wi^{1/2}))^{3/5}$$

となるわけで、1.2 で用いた w 、 i 及びそれらで求めた n の概略値をそれぞれ $w=1500m$ 、 $i=0.0005$ 、 $n=0.18$ と仮定し、単位の換算（マンニングの式は m/s で表わされているが貯留関数は mm/h で表わされている）をすれば

$$S = 152 q^{0.6} \dots\dots\dots (2)$$

となって、さきに求めた貯留関数と比べ、多くの仮定に基づく割にはよく一致している。

3. まとめ

。昭和56年8月24日の茨城県南部の洪水氾濫において、水田を流れる氾濫流の特徴を調べた。マンニングの粗度公式が成立するとすれば粗度係数は 0.14～0.25 程度で、水深が減ると増加する。また観測流量から氾濫水の貯留・流出関係を求めると $S = 135 q^{0.58}$ となるのに対し、上述のように別の仮定で求めた粗度係数からの同種の関係は $S = 152 q^{0.6}$ となってよい一致を示している。本文中に述べたように各種の仮定があるため、大きく異った条件下で他に用いることはできないが、類似の条件下では内水や破堤などによる氾濫水の防止計画などには適用できるであろう。

破堤という異常事態の中で貴重な観測等に從事された建設省など関係機関の努力に厚く御礼を述べる次第である。

参 考 文 献

- 1) 角屋睦・早瀬吉雄 (1979) : 巨椋低平流域の都市化と内水, 京大防災研年報第22号, B-2, 237～256.
- 2) 木下武雄 (1975) : 降雨流出と災害(2) — 主として水田地帯について, 土木学会年次学術講演会, 第II部, 175 - 176.
- 3) 末石富太郎 (1955) : 特性曲線による流出解析, 土木学会論文集第29号, 74～87.

(1983年6月15日 原稿受理)