

日本で起りうる最大短時間雨量について*

桑原 英夫**

要旨

筆者は、中小河川の最大洪水流量の推定にかかわり、日本の各地域で起りうる最大級豪雨の DAD (Depth-Area-Duration) 特性について検討を行ってきた。この過程で、わが国ではこれまでの観測値よりもはるかに大きな短時間雨量が起りうると思われるようになった。

本報は、その理由とともに、全世界および中緯度地帯における最大雨量観測値の DD 関係から類推される、日本で起りうる最大短時間雨量として次のような数値を示した。

降雨時間	雨量
10 min	150 ~ 110 mm
30	260 ~ 210
1 h	360 ~ 290
3	590 ~ 510
6	800 ~ 710

1. まえがき

筆者は、中小河川の最大洪水流量の推定にかかわり、日本の各地域で起りうる最大級豪雨の DAD (Depth-Area-Duration) 特性について検討を行ってきた。この過程で、わが国ではこれまでの観測値よりもはるかに大きな短時間雨量が起りうる、あるいは、起きていたに違いないと考えるようになった。

ここでは、その理由と、起りうると思われる最大雨量とを示し、気象学を専門とする諸賢のご批判を仰ぎたい。

なお以下に、筆者がこのような検討を行うに至った背景を紹介したい。

治水・利水計画で用いられる設計水文量に確率の概念が導入されて久しいが、昭和51年に制定された『河川管理施設等構造令』により、ダム設計洪水流量は、次の3項の流量を検討し、その中の最大値を基に定めること

になった。

(A) ダム地点において、200年に1回の割合で発生すると予想される洪水流量

(B) ダム地点で発生した最大洪水流量

(C) ダム流域と気象・水象条件の類似する近傍流域で発生した最大洪水時の気象・水象の観測値から判断して、ダム地点で発生するおそれがあると推定される洪水流量

これによれば、設計洪水流量は、ほとんどの場合、(C) 項の流量により決せられる。すなわち、高度の安全性が要求されるダムの設計洪水流量については、〈確率〉よりも〈地域最大〉の概念が重要になったのである。

ところで、洪水流量は、雨量データを基に流域の特性を考慮して推定することが多いが、比較的小さな流域での洪水ピーク流量 Q_p (m³/sec) の推定には、合理式と呼ばれる次式がよく用いられる。

$$Q_p = \frac{1}{3.6} r_e \cdot A \quad (1)$$

ここで、 A は流域面積 (km²)、 r_e は洪水到達時間内

* The Probable Maximum Precipitation for Short Duration in Japan.

** Hideo Kuwahara, 山形大学農学部農業工学科。

—1981年10月1日受領—

—1982年4月19日受理—

の流域平均有効降雨強度 (mm/hr) で、流域平均降雨強度 r とピーク流出係数 f_p とを用いて $r_e = f_p \cdot r$ とすることが多い。

この合理式で考えれば、洪水ピーク流量は、洪水到達時間における降雨の空間的分布特性、すなわち、DAD特性の反映であり、中小河川の最大洪水流量に関する研究の焦点は豪雨の DAD 特性の把握に集約できるといえる (角屋・永井, 1978)。

一方、洪水到達時間は流域特性の反映であり、その推定に、従来わが国では「バイエルン地方の公式 (ルチハの式)」がよく用いられてきたが、1976年に角屋・福島により、次に示す日本の中小河川における洪水到達時間推定式が提示され、わが国で合理式を合理的に用いる道が開かれた。

$$t_p = C \cdot A^{0.22} \cdot r_e^{-0.35} \quad (2)$$

ここで、 t_p は洪水到達時間 (min)、 A は流域面積 (km^2)、 r_e は有効降雨強度 (mm/hr)、 C は定数で、丘陵山林地流域の場合 290 とされている。

合理式は、本来、小流域にしか適用できないものであるが、その限界は明確でない。角屋・福島は (2) 式を導くに際し、流域面積 $0.1 \sim 1000 \text{ km}^2$ の範囲について検討している。そこで筆者も、豪雨の DAD 解析における対象面積をこれに合わせた。

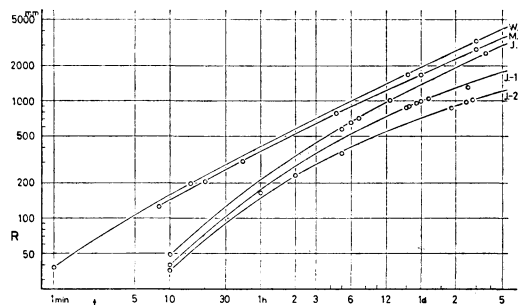
対象面積を $0.1 \sim 1000 \text{ km}^2$ として、これまでに観測された全国各地での記録的豪雨の雨量を基に (2) 式で t_p を推定すれば、対象時間は 30 分間～8 時間程度とする必要がある。もし、これまでのわが国での短時間雨量観測値が過少であり、もっと大きい雨量が起りうるならば、20分間程度からの雨量が対象となる。短時間雨量を問題にする理由である。

2. 日本と世界の最大雨量観測値の DD 関係の比較

1960年に吉野は、わが国における雨量の最大観測値の DD 関係を全世界のそれと比較して、“日本記録は 10～24 時間について、世界記録にはほぼ匹敵しているが、6 時間以内の短時間、または 1 カ月や 1 年にわたるような長時間については、大きな値は出ていない”と述べた。

一方、二宮 (1977) は、全国各地の 10 分間、1 時間および 1 日雨量の極値の分布について検討し、“短時間雨量極値の発現は、空間的に homogeneous であるのに対し、日雨量極値の発現には、著しい地域性 (地形に関係した) がある”と述べている。

第 1 図は、筆者がこれまでに収集した各地の地点雨量



第 1 図 最大雨量観測値の DD 関係の比較。

観測データに基づき、次の各区分における最大観測値の DD 関係を、データの包絡線として求め、短時間雨量を中心に比較したものである。包絡線を用いた理由は、地域で起りうる最大雨量を推定する方法として、既往最大観測値の包絡線を用いることが有効と考えるからである (桑原, 1979)。

- ① 全世界 (記号; W.)
- ② 中緯度地帯 (M.)
- ③ 日本全域 (J.)
- ④ 九州、四国南部、紀伊南部 および 南西諸島等を除いた地域 (J-1)
- ⑤ 東北地方および北海道 (J-2)

図中の白丸は、各包絡線を求めるのに用いたデータで、それぞれの降雨時間、雨量、観測地点および生起日を第 1 表に示した。

なお、本報で示す観測データは、一般的な気象庁の公開資料に所載するものを除き、すべて番号を付し、その出所を文末にまとめた。

第 1 図から、吉野の見解は、その後の記録更新等により多少の修正は必要とするが、その基本は現在でも正しいといえる。

二宮の見解も、日本の各場合について正しいことがわかる。さらに、この見解は日本列島についてのものではあるが、全世界と中緯度地帯との関係にも当てはまっていることは興味深い。しかし、二つのグループ間には大きな食い違いがある。

この点について、武田・二宮 (1977) は、“(日本では) 積乱雲の群を組織化する中規模じょう乱を発達させる大気場が存在するか、あるいは 1 日程度多量の水蒸気を含んだ温い空気を送りこむ気流系が形成されることがあっても、世界記録をつくるような積乱雲を発達させる垂

第1表 各地域における最大地点雨量観測値.

降雨時間	雨量(mm)	観測地点	生起日
(1) 全世界 *1)			
1 min	38	Barot, Guadeloupe	1970. 11. 26
15 min	198	Plumb Point, Jamaica	1916. 5. 12
18 h 30 min	1689	Belouve, La Reunion	1964. 2. 28-29
3 d	3240	Cilaos, La Reunion	1952. 3. 15-18
4 mo	18738	Cherrapunji, India	1861. 4-7
(2) 中緯度地帯 *1)			
8 min	126	Füssen, Bavaria	1920. 5. 25
20 min	206	Curtea-de-Arges, Roumania	1889. 7. 7
42 min	305	Holt, Mo.	1947. 6. 22
4 h 30 min	782+	Smethport, Pa.	1942. 7. 18
24 h	1672	Hsin-liao, China	1967. 10. 17
3 d	2749	Hsin-liao, China	1967. 10. 17-19
(3) 日本全域			
10 min	49	足摺	1946. 9. 13
1 h	(167)	福井 (徳島県)	1952. 3. 22 *2)
2 h	(296×)	足摺	1944. 10. 17 *3)
3 h	(377)	西郷 (長崎県)	1957. 7. 25-26 *4)
4 h	(467)	西郷	1957. 7. 25-26
5 h	575	西郷	1957. 7. 25-26
6 h	647	西郷	1957. 7. 25-26
7 h	707	西郷	1957. 7. 25-26
13 h	1005+	西郷	1957. 7. 25-26
87 h	2555	日早 (徳島県)	1976. 9. 9-13 *5)
(4) 九州, 四国南部, 紀伊南部および南西諸島等を除いた地域			
10 min	40	秩父	1952. 7. 4
1 h	164	赤羽根 (愛知県)	1966. 10. 12 *6)
18 h	876	杉原 (岐阜県)	1965. 9. 14-15 *7)
19 h	899	杉原	1965. 9. 14-15
22 h	955	杉原	1965. 9. 14-15
24 h	988	杉原	1965. 9. 14-15
28 h	1035	杉原	1965. 9. 14-15
61 h	1300	灘山 (香川県)	1976. 9. 9-12 *8)
(5) 東北地方および北海道			
10 min	36	苫小牧	1950. 8. 1
2 h	231	小谷石 (渡島支庁)	1973. 9. 24 *9)
5 h	357	苫小牧	1950. 8. 1 *10)
44 h	874	鳥海山・河原宿 (山形県)	1958. 7. 27-29 *11)
59 h	970	鳥海山・河原宿	1966. 7. 15-18 *12)
67 h	1012	鳥海山・河原宿	1966. 7. 15-18

注: () を付したデータは包絡線の推定には用いていない.

第2表 東北地方および北海道における100 mm以上の1時間雨量観測値。

番号	雨量 (mm)	観測地点	生起日時
No. 1	109	築館(宮城県)	1948. 9. 16 -17.00 *13)
2	126	苫小牧	1950. 8. 1 -16.10
3	119	竹浦(胆振支庁)	1963. 8. 31 -11.00 *14)
4	103	森吉山(秋田県)	1967. 7. 21 -14.00 *15)
5	118	杉沢山(秋田県)	1968. 6. 27 -19.00 *15)
6	128	小谷石(渡島支庁)	1973. 9. 14 -13.00 *9)
7	133	小谷石	1973. 9. 24 -15.00 *9)
8	127	明神沢(県)(山形県)	1975. 8. 6 11.00-12.10 *16)
8-1	105	明神沢(林)(山形県)	1975. 8. 6 -12.00 *17)
9	111	岳(岩手県)	1977. 7. 5 -15.00 *18)
10	130	八甲田山(青森県)	1980. 6. 17 - 7.00 *15)

直不安定はない”と説明している。

それにしても、日本の最大雨量観測値の DD 関係は、全世界および中緯度地帯のそれに比し、あまりに特異である。

3. 東北地方および北海道における短時間雨量

第2表は、わが国では比較的大雨の少ない地方とされる東北・北海道において、100 mm 以上の1時間雨量が観測された事例を生起順に並べたものである。この中で唯一の気象官署の観測値である苫小牧の雨量を除き、他はすべて正時刻観測の値で、任意時刻間を採れば100 mm を超えると思われる事例が、同一気象現象によるものを除き、ほぼ同数はある。

第2表から、短時間雨量の観測体制が整ってきた近年になって、山地を中心に、各地で相次いで大きな雨量が観測されるようになったことがわかる。

「No. 8」の127 mm は、山形県高坂ダム管理事務所のロボット雨量計が捕えた70分間雨量で、このとき、この地点から約2.5 km 離れた場所に設置されていた林業試験場の長期自記雨量計が「No. 8-1」に示す雨量を記録していた。

「No. 6」および「No. 7」の小谷石の雨量は、同年7月に北海道函館土木現業所が設置したばかりの雨量計で捕捉されたものである。とくに「No. 7」の場合、この地点から1 km とは離れていない函館海洋気象台のロボット雨量計で観測された最大1時間雨量は67 mm に過ぎない(山岡・他, 1974)。さらに、この強雨を記録した自記紙(コピー)によれば、控え目にみても、15分間に50 mm 以上、60分間に150 mm 以上の雨量があっ

たことは確実である(その根拠を「付記-1」に示した)。60分間に150 mm 以上という雨量は日本記録に匹敵するものである。

「No. 10」の八甲田山の雨量は、青森地方気象台のロボット雨量計による観測値で、このときの自記記録から加藤和夫氏(青森地方気象台技術課)が非公式に作成された毎10分間雨量データによれば、最大10分間雨量は40 mm (17日6.30~6.40)、最大50分間雨量が129 mm (6.00~6.50)であった。また、この強雨のあった翌日に青森地方気象台が行った現地調査の結果、“(遊歩道等の)被害半径は500 m か、せいぜい1 km 未満程度である”と報告されている(加藤・大島, 1981)。これは、上記の「小谷石の強雨」の例とともに、記録的な強雨の著しい局地性を示すものである。

このほか、観測値ではないが、1950年夏の北海道の豪雨に関する札幌管区気象台の調査報告(1974)に、“8月2日未明に、新十津川村で4時間に400 mm 以上”、“雨は00時前後に降り出し01~04時に最も猛烈で、局部的にはこの数時間に800 mm という驚異的な雨量があった模様である”という記述がある。同報告の別の個所に、この雨量について、守田調査課長(当時)の現地調査の報告として、“留久小学校のドラム缶にたまった降水から約800 mm という相当信用度の高い観測値があった”とあり、降雨時間について、“(徳富川流域では)2日01時半から11時頃まで約9時間”とある。これは、数値の信頼性に問題はあるが、地点雨量として、諫早豪雨に匹敵する雨が北海道で降った可能性のあることを示している。

以上に挙げた事例は、日本列島というスケールでみた

場合、“短時間雨量極値の発現は、空間的に homogeneous である”という二宮の見解の妥当性を裏付けるものである。しかし、もっと小さなスケールでみれば、1時間程度の短時間雨量についても地形の影響は相当に大きなものと推察できる。

雨量観測体制が強化され、とくに山地の観測所が増えたことにより、東北・北海道でもこれまでの日本記録に匹敵する短時間雨量が観測されるようになったことからすれば、日本全域ではもっと大きな地点雨量が起りうる、あるいは、起きていたと考えなければならない。すなわち、これまでの日本の短時間雨量極値が小さい理由を、次のように説明したい。

1) わが国における短時間雨量の観測は、日雨量の場合に比べ、観測年数も観測地点数も格段に少なかった。

2) 記録的な短時間雨量をもたらす強雨の雨域はきわめて狭いものと考えられる。したがって、このような強雨域、とくに雨域の中心雨量が目の粗い観測網に捕捉される機会はきわめて少ない。

この点について、日本は世界でもまれな雨量観測点密度の高い国であるという意見もあろう。しかし、“わが国の気象観測網に、集中豪雨の謎をとくカギともいふべき事象が初めてかかった(斎藤・他, 1973)”といわれる諫早豪雨の雨量データは、当時、農林省が干拓事業の基礎資料を得る目的で、長崎海洋气象台と共同で、諫早周辺に特別な高密度の観測網を展開していたから得られたものであることを思い起していただきたい。

なお、日本のように雨量観測点密度の高い国において、このようなことがいえるなら、全世界についてはなおさらのことであろう。とくに、世界的にみて豪雨・強雨の起りやすいと考えられる低緯度地帯での雨量観測体制の現状からすれば、現在の世界の最大雨量観測値も過少である可能性が大きい。

4. サイホン式貯水型自記雨量計による強雨の観測値について

気象官署の自記雨量計が、現在の転倒ます型に全面的に切り替えられたのは1968年である。その頃までは、サイホン式貯水型自記雨量計が広く用いられていた。

この雨量計は、原理は Hellmann の雨量計と同じであるが、わが国で独自に考案されたものといわれ(岡田, 1951)、その観測誤差を論じた矢島の論文(1955)によれば、降雨強度 240 mm/hr (40 mm/10 min) 程度までの降雨を対象に設計されていたものと想像される。

この雨量計で観測されたとされる全国各地での10分間雨量の極値が、足摺での 49 mm (1946年9月13日)を除き、すべて 40 mm 以下であることは興味深い。

筆者がこれまでに、データ収集のために訪れた各地の気象官署およびその他の機関で、この雨量計の強雨時の挙動に問題があるらしいことを何回か耳にした。筆者自身も、かつて、降雨の途中からサイホンが作動せず、かなり大きな雨が観測できなかった経験をもっている。

そこで、山形大学に保存されていた1967年製のサイホン式貯水型自記雨量計(スターター付き)を用いて、実験により、強雨時の観測特性を確かめてみた。

その結果、この雨量計は、排水時に降雨強度が約1500 mm/hr 以上の降雨があれば、排水が止まらなくなってしまふことがわかった。排水が止まらなくなる限界付近でのサイホンの挙動は微妙で、この限界降雨強度は、測器の新旧および整備状態のほか、水温、気温、気圧、振動等、観測時の諸条件によって変わり、さらに、測器による差も大きなものと思われる(「付記-2」を参照されたい)。

スターターのない雨量計についての実験はしていないが、一連の実験を通じて、スターターは、排水終了時にはストッパーの役割も果しているように思われた。したがって、スターターのない測器での限界降雨強度はもっと小さく、1000 mm/hr を下回るのではないかと推察する。

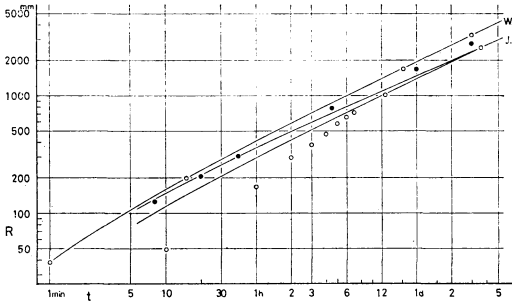
佐貫(1953)が、この雨量計の欠点を挙げた文章の中に、“強い雨が来ると管の壁を伝わっていつまでも少しずつ流れたりして困ることがある”という記述がある。表現が、実験で見られた現象と少し違うが、多分、同じ現象を指しているものであろう。

現在の、1分間雨量の世界記録は、1970年11月26日に、カリブ海にある Guadeloupe の Barot で観測された 38 mm である^{*1)}。この強雨の平均降雨強度は

$$38 \text{ mm/min} \approx 2300 \text{ mm/hr}$$

であり、上記の限界降雨強度を超えている。したがって、この強雨をサイホン式貯水型自記雨量計で観測したならば、いったん排水が始まればその後の雨量は記録されない。すなわち、この強雨の始まる直前に、自記ペンが 0.0 mm を指す状態にあったなら 20.0 mm と記録されるが、もし、排水が始まる直前の状態にあったなら、このような強雨の存在すらも記録されない。

この雨量計が用いられていた時代に、わが国で世界記録に匹敵する強雨が起きていたとする証拠はない。しか



第2図 日本で起りうる最大雨量の DD 関係.

し、起きていたとしても、それは、そのように記録されなかったであろう。

さきに挙げた佐貫の記述は、文章の調子から想像して、外国文献からの引用あるいは実験室内で起きた現象の紹介とは思われない。サイホン式貯水型自記雨量計の排水が止まらなくなるような強雨が、日本で実際に起きていたのに違いない。

5. 日本で起りうる最大短時間雨量

わが国での短時間雨量極値が過少であるとするならば、既往の観測値を基に、起りうる最大短時間雨量を推定することはできない。また現在のところ、気象学的にこれを推定することもできないと聞いている。しかし、工学の立場にある者としては、推定できないから計画・設計ができない、あるいは、その安全性が判断できないというわけにはいかない。

ここで、この問題の解決に一つの手がかりを与えてくれるのが前述の二宮の見解と第1図である。すなわち、日本列島についての見解が、全世界の最大観測値の DD 関係と中緯度地帯のそれとの間でも成り立っていることである。

そこで、筆者は、ともにかかなりの広さをもつ地域での、起りうる最大雨量の DD 関係を比較した場合、「短時間雨量では地域差が少なく、降雨時間を長くとるに従い雨量の地域差は大きくなる」と、二宮の見解を拡大解釈し、これが全世界あるいは中緯度地帯と日本との間でも成り立つのではないかと考える。すなわち一般的に、 t を降雨時間、 $f(t)$ をある地域の起りうる最大雨量の DD 式、 $g(t)$ をその地域に含まれる、あるいはその地域より雨量が小さいと考えられる地域のそれとして、次の関係が成り立つということである。

第3表 日本で起りうる最大地点雨量.

降雨時間	雨量 (mm)
10 min	150 ~ 110
30	260 ~ 210
1 h	360 ~ 290
3	590 ~ 510
6	800 ~ 710
12	1100 ~ 990
24	1500 ~ 1400

$$h(t) = \frac{f(t)}{g(t)} \geq 1 \tag{3}$$

$$h'(t) \geq 0 \tag{4}$$

実際には、 $f(t)$ はある地域での最大雨量観測値の DD 式とせざるを得ない。

そこで、第1図に示した全世界の最大雨量観測値の DD 関係を基に、日本の観測データを包絡し、(3)および(4)式の関係为满足する上・下限を求め、それらを全世界の DD 関係と比較すると第2図のようになる。図には、中緯度地帯のデータを黒丸で示し、第1表・(3)に()を付して挙げたデータもプロットしてある。

第2図の上・下限線の範囲をもって、日本で起りうる最大雨量と考えたい。いくつかの降雨時間について、数値で示せば第3表のようになる。

6. あとがき

以上、わが国ではこれまでの観測値よりもはるかに大きな短時間雨量が起りうると思える理由を挙げ、全世界および中緯度地帯における最大雨量観測値の DD 関係から類推される、日本で起りうる最大短時間雨量を示した。

しかし、これらの値について、気象学的ないし物理的に、その妥当性を検討することが筆者にはできない。工学の立場にある者として、このような雨量は日本では起りえないと否定されない限り、〈Fail-safe〉の思想を貫くことが筋であると考えている。不確かな数値を、気象の専門家にあえて問う所以である。諸賢のご批判とご教示を仰ぎたい。

なお、これまでの資料収集に際し、多大のご便宜を賜った気象官署およびその他の機関の関係各位、ならびに、お世話になった多くの方々へ謹んで感謝の意を表したい。

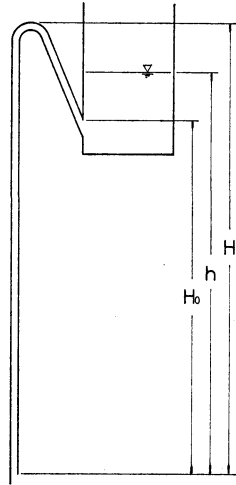
「付記-1」

小谷石の雨量について

小谷石における1973年9月24日の強雨を記録している自記紙は、自記電接計数器(週巻)により、目盛範囲0～50mmで片道記録されているものである。

週巻自記紙から、短い時間間隔で各時刻の雨量を読みとることは困難である。そこで、降雨最強時の自記描線の最小間隔を、倍率20の測定顕微鏡で1/20mmまで読みとり、24時間が自記紙上で43.5mmであることから、その時間を求めた。結果は次のとおりである。

雨量	描線間隔	時間
50 mm	0.40 mm	13 min
100	1.00	33
150	1.70	56
200	2.85	94



第3図 雨量計サイホンの模式図。

「付記-2」

雨量計サイホンの排水特性について

雨量観測に伴う一般的な誤差の原因を別にすれば、サイホン式貯水型自記雨量計特有の誤差の原因として、とくに強雨時に問題となるのは、排水中の雨量が排水とともに失われることである。

この排水に要する時間は13秒以内と定められている(気象測器検定規則・第289条)。矢島は、これを13秒として、排水中に失われる雨量と降雨強度との関係を40mm/10minまでについて示し、“この誤差は自記紙上で排水前後の降雨強度を知れば補正することができる”とした。

この程度の降雨強度までならば問題になるとは思われないが、排水中の降雨強度が大きくなるに従い、排水時間は長くなる。そして、排水が終る直前の排水強度に相当する降雨強度になれば、排水は止まらなくなるはずである。

このようなサイホン式貯水型自記雨量計の特性を確かめるために、実際の測器を用いて検討を行った。以下は、この検討結果の概要である。

1. 水理学的検討

(1) 排水強度

第3図に示すサイホンにおいて、流入による損失、摩擦損失、曲がりによる損失等、さまざまな損失を一括して、その損失係数をFで表わせば、水頭差hのときの流量(排水強度)Qは次式で示される。

$$Q = a\sqrt{\frac{2gh}{F}} \quad (5)$$

ここで、aはサイホン管の断面積、gは地球重力の加速度である。

ところで、実際のサイホン管には3個所で断面積の急変化があり、加えて、途中にスターターが入っているため、Fの値を水理学的に求めることは困難である。そこで、Fを構成する摩擦損失係数は流速によって変化することが知られているが、近似的に、これを一定とみなして、

$$\alpha = a\sqrt{\frac{2g}{F}}$$

とおけば、(5)式は次のように表わすことができる。

$$Q = \alpha\sqrt{h} \quad (6)$$

(2) 排水時間

a) 排水中に流入量がない場合

タンクの断面積Aが一定で、排水中にタンクへの流入量がない場合、次の連続式が成り立つ。

$$-Adh = Qdt$$

したがって、水位がHからH₀に下がるまでに要する時間Tは次のようになる。

$$T = -\int_H^{H_0} \frac{A}{\alpha\sqrt{h}} dh \quad (7)$$

$$= \frac{2A}{\alpha}(\sqrt{H} - \sqrt{H_0})$$

b) 排水中に流入量がある場合

排水中にタンク内へ流入強度qの流入量がある場合、連続式は次のようになる。

$$-Adh = (Q - q) dt$$

ここで、一般に q は時を追って変化するものであるが、排水時間中これを一定と仮定すれば、水位が H から H_0 に下がるまでに要する時間 T は次のようになる。

$$T = - \int_H^{H_0} \frac{A}{\alpha \sqrt{h} - q} dh$$

$$= \frac{2A}{\alpha^2} \left\{ \alpha (\sqrt{H} - \sqrt{H_0}) + q \cdot \log \frac{\alpha \sqrt{H} - q}{\alpha \sqrt{H_0} - q} \right\} \quad (8)$$

(8) 式から明らかなように、 $q = \alpha \sqrt{H_0}$ で $T = \infty$ 、すなわち、排水は止まらなくなる。

2. 実験による検討

(1) 実験に用いた測器

実験に用いた測器は山形大学所有のスターター付きのもので、その経歴は次のとおりである。

製作所 太田計器製作所
製造年月 1967年3月
測器番号 95798
気象庁検定 1967年

この測器は、実際の観測に使用されたことがなく、各部の機能に異状はない。ただし、指示雨量 20.0 mm でサイホンが作動せず、指示目盛 0.0 mm の状態から、639.4 cm³ (5 回測定の平均値、雨量換算 20.4 mm) の注水により、20.2 mm を指示して排水が始まる (ゆっくり注水した場合)。注水量と指示雨量の食い違いは、スターター内の転倒ますの容積が約 6 cm³ (雨量で約 0.2 mm) であることから説明できる。したがって、この器差は調整しないで実験に用いた。

なお、寸法の実測または間接的に求めた、以下の検討に必要な諸元は次のとおりである。

排水開始時の水位: H

$$H = 48.0 \text{ cm}$$

排水終了時の水位: H_0

$$H_0 = H - 10.1 = 37.9 \text{ cm}$$

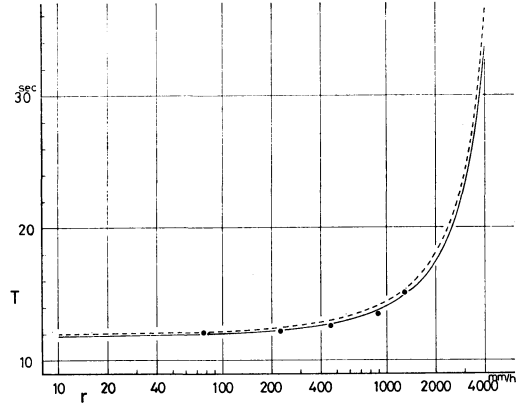
タンクの断面積: A

$$A = 62.8 \text{ cm}^2$$

(2) 排水時間

a) 排水中に流入量がない場合

雨量計の漏斗からゆっくり水を注ぎ、排水開始直前にこれを止め、排水中に流入量がない場合の排水に要する時間を、スターター内の転倒ますが転倒してから復元するまでの時間として測定した。結果は次のとおりである。



第4図 降雨強度と排水時間との関係。

$T = 11.8$ 秒 (10 回測定の平均値、測定値の範囲 11.5 ~ 12.0 秒)

この結果から、(7) 式により α の値を求めると次のようになる。

$$\alpha = 8.22$$

なお、矢島は、スターターのない測器について、タンク内のある水量 V_0 を排水するに要する時間 T_i を次式で示している。

$$T_i = 0.72 \times 10^{-1} \frac{V_0}{d_0^2 \sqrt{h_i}} \quad (9)$$

ここで、 d_0 は排水口の直径であるが、同論文中にサイホン管の内径は 7.5 ± 0.5 mm という数値が示されているので、これを 0.75 cm とし、(9) 式を (7) 式の形で表現すると、 α の値は 7.8 となる。

b) 排水中に流入量がある場合

上記の諸数値を (8) 式に代入して整理すると、排水中に一定の流入強度 q (cm³/sec) の流入量がある場合の排水に要する時間 T (sec) は次のようになる。

$$T = 11.8 + 1.86 q \cdot \log \frac{56.9 - q}{50.6 - q} \quad (10)$$

また、流入強度を降雨強度 r (mm/hr) で表わせば、次のようになる。

$$T = 11.8 + 2.13 \times 10^2 r \cdot \log \frac{6.53 \times 10^3 - r}{5.79 \times 10^3 - r} \quad (11)$$

(11) 式の r と T との関係を図 4 に実線で示した。なお、矢島の示した諸数値を用いれば次式となり、この場合の両者の関係を第 4 図に点線で示した。

$$T = 12 + 2.4 \times 10^2 r \cdot \log \frac{6.3 \times 10^3 - r}{5.7 \times 10^3 - r} \quad (12)$$

図中の黒丸は、(11)式を確認するために行った実験結果で、これは、一定の q の水を雨量計の漏斗から注ぎ、3~5回の排水時間を測定して平均したものである。

(3) 排水が止まらなくなる限界降雨強度

(8)式から明らかなように、排水中に排水が終る直前の排水強度以上の流入量があれば、排水は止まらなくなる。それは、実験に用いた測器の場合、降雨強度として約5800 mm/hrである。現在の1分間雨量の世界記録は38 mm、平均降雨強度は約2300 mm/hrであるから、もし日記紙から読み取れるならば、このような強雨でも観測が可能であり、必要に応じて(11)式を用いて補正もできるように思われる。

ところが、実験によって、それが不可能であることがわかった。理由は、5800 mm/hrよりはるかに小さな降雨強度で排水が止まらなくなってしまうからで、第4図に示した実験結果が約1300 mm/hrで終わっているのはこのためである。

排水が止まらなくなる限界降雨強度を知るためにいろいろな実験を試みたが、限界付近でのサイホンの挙動は微妙で、確かな値を求めることはできなかった。 $r > 1500$ mm/hrならば確実に止まらなくなるが、下限は条件によって大きく変動する。

このような現象の起る理由として、次のことが挙げられる。

1) サイホン作用を破壊しない程度の空気が流入口から吸込まれ、排水強度が減少する。

2) 排水強度の減少に伴いサイホン管下端から空気が入り、実質的な水頭差が減少する。

本文で挙げた、佐貫の“管の壁を伝わって”という表現は、2)の現象を指しているものと考えられる。

資料

- * 1) WMO, 1973: Operational Hydrology Report No. 1, 177-178.
- * 2) 徳島地方気象台.
- * 3) 気象庁観測技術資料第2号(1957), 46.
- * 4) 気象庁技術報告 No. 27 (1963), 183.

- * 5) 大阪管区気象台, 1977: 昭和51年異常現象調査報告第1号, 113-115.
- * 6) 愛知県災害誌(1971).
- * 7) 松沢 勲・他, 1966: 災害の地域的特異性に関する基礎的総合研究, 97.
- * 8) 前出 *5), 116-121.
- * 9) 文献(山岡 勲・他, 1974), 70.
- *10) 文献(札幌管区気象台, 1974), 405.
- *11) 山形地方気象台.
- *12) 気象庁大雨予想資料.
- *13) 気象庁技術報告 No. 56 (1967), 151.
- *14) 札幌管区異常気象報告.
- *15) 仙台管区異常気象報告.
- *16) 山形県高坂ダム管理事務所.
- *17) 林業試験場東北支場.
- *18) 建設省雨量年表.

文献

- 角展 陸・福島 晟, 1976: 中小河川の洪水到達時間, 京大防災研究所年報, 19・B, 143-152.
- 角展 陸・永井明博, 1978: DA 曲線式の議論, ダム頭着工の安全設計資料としての洪水比流量に関する研究, 昭和52年度科学研究費報告書, 19-21.
- 加藤和夫・大島汎海, 1981: 八甲田山で発生した記録的な強雨について, 東北技術だより, 2-10, 20-47.
- 桑原英夫, 1979: 日本における降雨時間別最大雨量観測値と起こりうる最大級豪雨の降雨強度曲線, 農業土木学会誌, 47, 505-510.
- 二宮洗三, 1977: 豪雨の時間スケールからみた降水強度極値の地理的分布, 天気, 24, 63-70.
- 岡田武松, 1951: 雨, 岩波書店, 282.
- 斎藤鍊一・他, 1973: 集中豪雨, 日本放送出版協会, 57.
- 佐貫亦男, 1953: 地上気象器械, 共立出版, 141.
- 札幌管区気象台, 1974: 1950年夏の北海道の豪雨, 気象庁研究時報, 26, 399-413および483-500.
- 武田喬男・二宮洗三, 1977: 日本の豪雨・豪雪, 科学, 47, 138-148.
- 矢島幸雄, 1955: サイフォン式貯水型自記雨量計について, 気象庁研究時報, 7, 520-522.
- 山岡勲・他, 1974: 昭和48年9月道南及び東北北部豪雨災害の調査と防災研究, 52-54.
- 吉野正敏, 1960: 日本における雨量最大観測値・雨量-時間曲線・雨量強度-時間曲線の特性とその分布, 気象集誌, 38, 27-46.