

宮崎大学工学部 正会員 石黒政儀

宮崎大学工学部 学生員 〇植田 薫

宮崎大学工学部 学生員 松岡慶二

1 はしがき 都市下水道および各種排水計画において基本的問題の1つとして降雨と流出の水文学的問題がある。本文は昭和40年度から宮崎大学工学部構内で降雨と流出の実測を重ねつつ研究が続けられたオ7報である。特に本報では昭和42年より観測を行なっている1分ごと測定降雨強度計による実測降雨記録300降雨を基礎資料として降雨の時間的変動すなわちハイトグラフについて、降雨の周期的な変動を加味できる周期関数にて表示し、実際の降雨強度変動に適用し、降雨の原因別特性(例えば、台風、低気圧、雷雨)をも明らかにして実際の設計降雨に適用せんとするものである。本文では降雨の時間的变化に、周期性をも考慮し次式で示す。 $P(t) = A + B \cos \omega t + C \sin \omega t$ ただし $\omega = \frac{2\pi}{T_0}$ T_0 は周期、 A, B, C は定数。各降雨特性から係数値を見出し、流出解析のInputとして用いる。例えばラショナル式では、 $Q(t) = \frac{1}{L} \int_0^L P(t-\tau) d\tau$ 、ただし、 Q : 流量、 T : 流速時間、 L : 流達長、 τ : 遅滞時間 $Q(t) = \frac{1}{L} \int_0^L P(t-\tau) d\tau = \frac{1}{L} \int_0^L \{A + B \cos \omega(t-\tau) + C \sin \omega(t-\tau)\} d\tau = L \{ \sin \frac{\omega}{2} / \omega \} \{ B \cos \omega(t - \frac{\tau}{2}) + C \sin \omega(t - \frac{\tau}{2}) \} + AL$ として流量が計算されハイドログラフの算定もより合理的となる。

2 周期解析の理論と計算式 (1) ピリオドグラムによる周期検出法 降雨現象のようなランダムに変動する時系列において最も顕著に現われる変動の周期検出法としてピリオドグラムを用いる。計算手順は、(1) 原系列(実測値)を任意の個数 T 個ずつ区切、得た行列の各列について平均値を求め、この値からなる新系列 $x(t)$ を作る。これを次式の周期関数で示す、 $x(t) = A + B \cos \frac{2\pi}{T} t + C \sin \frac{2\pi}{T} t$ ①

(2) 式①にフーリエ解析を適用し係数 B, C および ω (振幅の2乗) を次式で求める。 A は実測の平均値である。 $B = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos \frac{2\pi}{T} t dt$ ②

$$C = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin \frac{2\pi}{T} t dt \quad \dots \dots \textcircled{3} \quad U^2 = B^2 + C^2 \quad \dots \dots \textcircled{4}$$

(3) U^2 の値を縦軸、周期 T を横軸にとりピリオドグラムを作る。ここで $x(t) = Q \cos(2\pi f t + \delta)$ (単波数) である変動波のスペクトル密度は、

$$S(f) = 4 \int_0^T R(t) \cos 2\pi f t dt \quad \dots \dots \textcircled{5} \text{ とする。自己相関関数 } R(\tau) \text{ は、}$$

$$R(\tau) = \frac{Q^2}{2} \cos 2\pi f \tau \quad \text{よって式⑤は、} S(f) = Q^2 \int_0^T \cos 2\pi f \tau d\tau = \frac{Q^2}{f} \text{ とする}$$

U^2 は Q^2 に相当するから U^2 が極大となる T が、原系列の中で顕著に現われる変動の周期である。図-1に昭和45年7月4日の降雨を実例として示す。

(2) 移動平均法による長周期検出 不規則に変動する合成波は、長周期変動、短周期変動、ランダム変動の3成分からなる。この不規則合成変動から、

ランダム変動、短周期変動を除去し、長周期変動を検出するために次の移動平均法を用いる。

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi) = B \cos \frac{2\pi}{T} t + C \sin \frac{2\pi}{T} t \quad \dots \dots \textcircled{6}$$

の $\omega = (2m+1)\pi$ 項の移動平均値 $g(t)$ は次式で示される。

$$g(t) = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} A \sin(\omega(t+\tau_k) + \varphi) \quad (\tau_k = \frac{T}{n})$$

$$= A \sin(\omega t + \varphi) \left[\frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} \sin \frac{\omega \tau_k}{2} (\sin \frac{\omega \tau_k}{2})' \right] \quad \dots \dots \textcircled{7}$$

上式オ2項は振幅収縮率であり、 $g(t)$ の振幅と $x(t)$ の

振幅との比を表わし、オ2項は次のように誘導され2[1]

の手順で長周期は検出される。

(3) 降雨強度変動式の算定 降雨強度変動式 $I(t)$ は式①であり、前述[1][2]の手順で実測値から T および B, C を求め

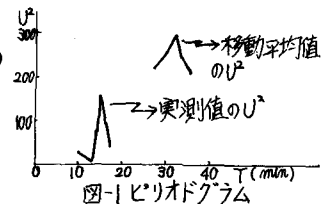


図-1 ピリオドグラム

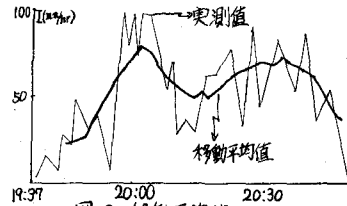


図-2 移動平均値

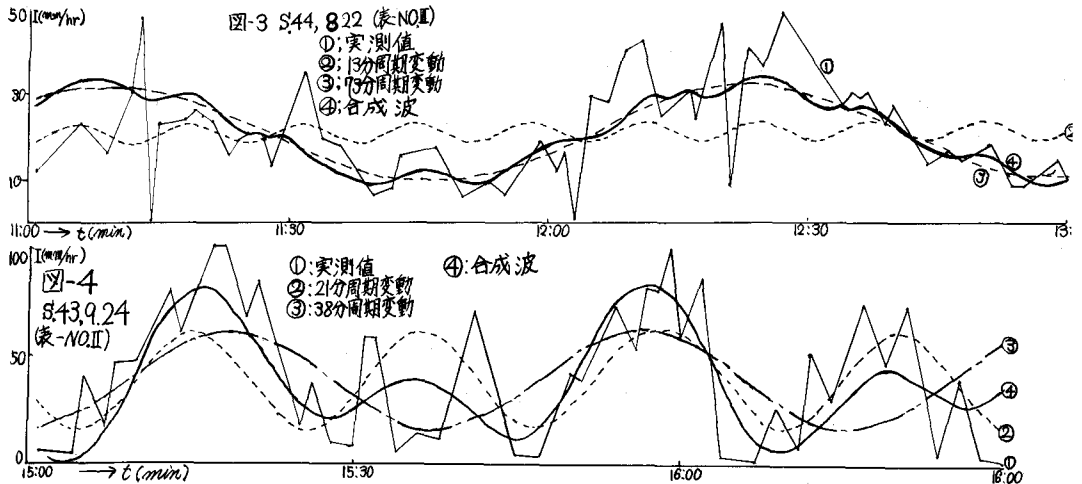
る(Bは式②、Cは式③)。②で求めた B, C は振幅収縮率により補正しなければならない。また短周期変動 $l_s(t)$ と長周期変動 $l_L(t)$ の合成波は次式で示される。 $I_{ss}(t) = l_s(t) + l_L(t) + A$ ⑪ ただし $l_s(t) = B \cos \frac{2\pi}{T_s} t + C \sin \frac{2\pi}{T_s} t$ ⑫ $l_L(t) = B_L \cos \frac{2\pi}{T_L} t + C_L \sin \frac{2\pi}{T_L} t$ ⑬ A:資料の平均値、 T_s, T_L :周期(分)、 t :継続時間(分)、上記の理論および諸式を適用して降雨強度変動における周期検出と降雨強度変動式の算定を次の手順で行なう。手順1:ピリオドグラムによる短周期(T_s)の検出 手順2: T_s 除去のため T_s 項の移動平均を行ない、⑫の手順で長周期(T_L)とその変動式 $l_L(t)$ の算定 手順3:原系列(実測値)より長周期変動 $l_L(t)$ を減じ、さらに移動平均を行ないランダム変動の除去、この系列から⑫より短周期変動式 $l_s(t)$ の算定 手順4: $l_s(t)$ と $l_L(t)$ を合成し(式⑪)ハイトグラフ($I(t)$)を算定する。

3 実測降雨への適用とその結果 2の理論式と手順を用い宮大工学部にて観測された1分毎連続降雨強度記録よりまず台風性降雨を解析する。台風性降雨は進路により地点雨量が異なるので、宮崎市の雨量に対し台風が通過した進路で4種に分類し、その解析結果を表に示す。

N	台風の進路	短周期	長周期	短周期変動式: $l_s(t)$	長周期変動式: $l_L(t)$	合成式: $I(t)$
I	九州西の方海上北上	20分		$l_s(t) = 30.3 + 2.8 \cos \frac{2\pi}{20} t + 4.6 \sin \frac{2\pi}{20} t$		
II	南九州上陸北上	21分	38分	$l_s(t) = 38.2 + 2.0 \cos \frac{2\pi}{21} t + 8.4 \sin \frac{2\pi}{21} t$	$l_L(t) = 38.2 + 7.4 \cos \frac{2\pi}{38} t + 21.4 \sin \frac{2\pi}{38} t$	$I_{ss}(t) = l_s(t) + l_L(t) + 38.2$
III	宮崎市を通過	13分	73分	$l_s(t) = 21.0 + 2.0 \cos \frac{2\pi}{13} t + 1.7 \sin \frac{2\pi}{13} t$	$l_L(t) = 21.0 + 10.6 \cos \frac{2\pi}{73} t + 21.4 \sin \frac{2\pi}{73} t$	$I_{ss}(t) = l_s(t) + l_L(t) + 21.0$
IV	九州東の方海上北上	15分	32分	$l_s(t) = 48.6 + 4.0 \cos \frac{2\pi}{15} t + 0.4 \sin \frac{2\pi}{15} t$	$l_L(t) = 48.6 + 2.3 \cos \frac{2\pi}{32} t + 8.3 \sin \frac{2\pi}{32} t$	$I_{ss}(t) = l_s(t) + l_L(t) + 48.6$

備考: I, S45.8.14 台風9号 降雨資料継続時間50分 II, S43.9.24 台風16号(オ3宮古島台風) 降雨資料継続時間90分
III, S44.8.22 台風14号 降雨資料継続時間120分 IV, S45.7.4 台風12号 降雨資料継続時間90分

ピリオドグラムと移動平均法を適用したハイトグラフ算定例として、昭和44年8月22日台風9号、昭和43年9月24日台風16号(オ3宮古島台風)を図-3,4に示す。短周期波、長周期波およびこれらの合成波は、実測資料と適合度が高く、降雨強度の周期変動をよく表示していると思われる。



4 むすび 本文ではハイトグラフ表現法の1つとして周期関数形表示を提唱し、特に台風性降雨について1分間観測資料より解析した結果、強雨時には10~20分間の短周期があり、さらに30分以上の長周期があることが判明し、今後の流出解析法の設計降雨決定に対し1つの指針が与えられた。しかし本文では台風性降雨の各進路について1降雨のみの結果であり、さらに多くの台風について解析を行なえばより一般的な結果が得られると考える。また、台風性降雨のみならず、低気圧、雷雨などについて解析を行ない、発生原因別の周期特性を追求し、設計ハイトグラフの合理化を進めるため、目下検討中であり、これらについては講演時に述べる。

参考文献 1)石黒、岡田、河田、藤下、水道計画の実測的研究(1報)土木学会西部支部研究発表論文集1967.1 2)石黒、上原、佐藤、同上(2報)同1968.1 3)石黒、伊藤、本、同上(3報)同1969.2 4)石黒、岡田、河田、藤下、同上(4報)同1971.2 5)石黒、久徳、岡田、河田、同上(5報)同1972.2 6)石黒、岡田、本、同上(6報)同1973.2 7)石黒、ハイトグラフとその特性に関する研究、土木学会論文集、1973.11 8)石黒、久徳、岡田、河田、同上(7報)同1973.11 9)岡田、河田、年雨量の変動について、発電水力、1973.9 10)堀川、明、ランダム変動の解析、共立出版、1973年版 11)鈴木、定一、気象統計学、地人書館、1970年版 12)石黒、久徳、河田、同上(8報)同1973.11 13)石黒、本、同上(9報)同1973.11