

降雨の不規則時間変動を考慮した降雨災害リスク評価手法の提案

関西大学環境都市工学部 正会員 ○兼清泰明 石垣泰輔
 関西大学 北野広平 草野魁叶

1 序論

短時間集中降雨における降雨強度の時間変動にはかなり大きなばらつきが認められるが、こういった不規則性が、内水氾濫解析や地下街への流入量算定に及ぼす影響については定量的な解析がほとんどなされていない。そこで本研究では、降雨強度の不規則な時間変動のサンプルを計算機上で再現する確率モデル¹⁾を構築することにより降雨災害リスクを定量評価する手法の構築を試みる。

2 降雨強度の不規則変動を記述するモデルの構築

本研究では、モデルのベースとなる降雨データとして、2013年から2018年にかけて大阪駅前第一ビルおよび大阪富国生命ビルで採取されたデータを用い、これらのデータの中から降雨継続時間がおよそ2[hours]で短期集中型と判断された10組のデータを抽出した。図1はこれら10個の抽出時系列の中の4個についてハイトグラフを作成したものである。図からわかるように、降雨強度の時系列にはかなり大きなばらつきが認められる。

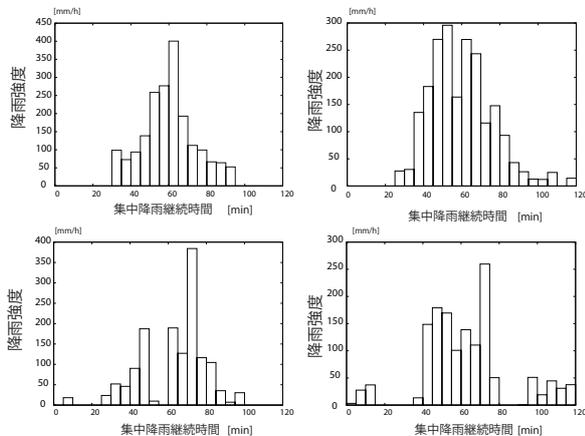


図1 富国生命ビルおよび大阪駅前第一ビルの降雨データから描いたハイトグラフ

図1のような不規則挙動を再現する確率モデルを構成するために、抽出した10個のデータセットから算術平均を通じて時間平均挙動データを作成し、それによくフィットする関数 $g(t)$ として次の形を設定した。

$$g(t) = \begin{cases} a_0 t^m & (0 \leq t \leq 60) \\ a_0 (120 - t)^m & (60 \leq t \leq 120) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $a_0 = 1.25 \times 10^{-2}$ 、 $m = 3.0$ であり、これが降雨強度の平均的な時間変動を与える。次に時刻 t での降雨強度を $X(t)$ とし、式(1)で与えられる $g(t)$ を用いて次のようにモデル化する。

$$X(t) = g(t) + \sigma(t)Y(t) \quad (2)$$

ここで、 $Y(t)$ は平均がゼロ、分散が1に規格化された定常確率過程であり、 $\sigma(t)$ は降雨強度のばらつきの大きさの時間変動を与える確定関数である。本研究では、降雨強度のばらつきが正規分布に従うものとし、 $Y(t)$ はBrown運動の数学モデルとして広く用いられているOrnstein-Uhlenbeck過程であるものとする。すなわち、 $Y(t)$ は次の伊藤型確率微分方程式

$$dY(t) = -\frac{1}{\tau}Y(t)dt + \sqrt{\frac{2}{\tau}}dB(t) \quad (3)$$

の解で与えられるものとする。ここで $B(t)$ は標準Wiener過程、 τ は正定数で相関時間を表し、式(3)の初期値 $Y(0)$ はWiener過程とは独立な標準正規分布に従う確率変数である。

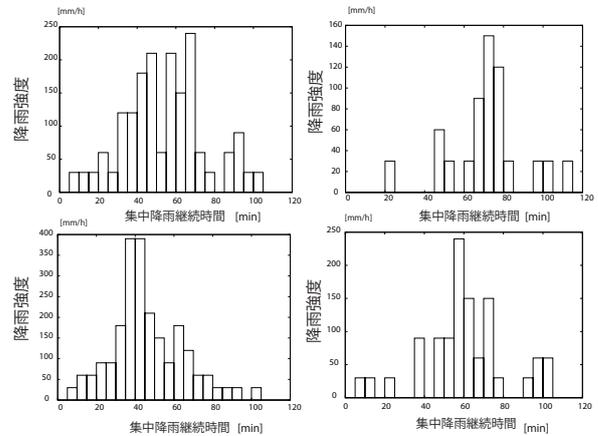


図2 確率モデルから生成したハイトグラフのサンプルの例

図2は、このように構成された確率モデルに基づいて計算機上で降雨強度の時間変化のサンプルを発生させ、それに基づいて描いたハイトグラフの挙動例である。本モデルでは不規則変動に伴う総降雨量の平均は一定となっているように設定されているが、この設定の下でも降雨データはかなり大きなばらつきを示し、図1に見られるような設定

キーワード：降雨災害，降雨リスク，不規則現象，確率モデル

連絡先：〒564-8680 吹田市山手町3-3-35 関西大学環境都市工学部 hiro.t.k@kansai-u.ac.jp

降雨継続時間内に間欠的な降雨時系列が現れるサンプルも再現できていることがわかる。

3 流量解析によるハイドログラフのサンプル生成

次に、2節で構築した確率モデルに基づいてハイドログラフを多数生成し、各々のサンプルに対する内氾濫解析より求めた地下街への流入量ハイドログラフのサンプル生成を行う。対象地域は大阪市北区と設定し、解析条件は文献2)を参考としてある。なお、解析にはソフトウェアInfoWorksICMを用い、対象エリア内ではハイドログラフに基づいて再現される降雨は一様であるものと仮定する。

図3はこのような手順により生成した40本のハイドログラフを1つのグラフに図示したものである。また、これらのサンプルから各時刻で標準偏差を算出し、その時間変動をプロットしたのが図4である。

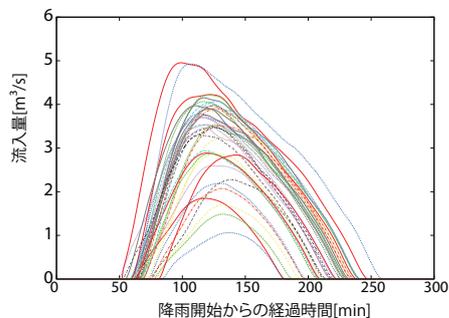


図3 提案確率モデルと解析により得られた流入量ハイドログラフのサンプル挙動

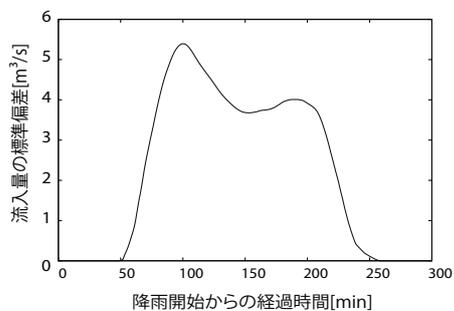


図4 流入量の標準偏差の時間変化

これらの結果から、平均的に降雨強度がピークとなる60[min]前後から流入量の急激な増加が始まり、ハイドログラフに間欠的な挙動が認められる場合でも流入量にはそのような傾向は認められないこと、また、降雨が終了する120[min]前後から流入量の減少が始まり標準偏差が小さくなり始めるが、200分を超えたあたりから再度標準偏差が大きくなることわかる。

4 流入量のピーク値の確率分布の推定

次に、3節で生成した40本のハイドログラフの各サンプルのピーク流入量を抽出し、確率紙上にプロットすることにより、ピーク流入量の従う確率分

布の推定を行う。解析ソフトとしてはJUSE Stat-Works/V4を用い、Weibull分布、Gumbel分布、正規分布、対数正規分布の4種の分布形でその適合性を比較した結果、最も適合性が良いのがWeibull分布であり、それに次ぐ適合性を示すのが正規分布であることが明らかとなった。図5はWeibull確率紙上のプロット結果を示したものである。

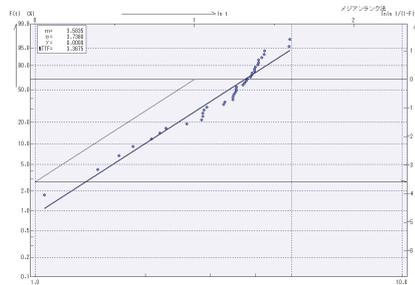


図5 流入量ピーク値のWeibull確率紙プロット

5 降雨災害発生確率の推定

降雨による物的あるいは人的被害などの降雨災害事象は、ピーク流入量が所与の限界流量値を超えた場合に発生するものとする。図6は、4節で推定されたピーク流入量の確率分布に基づき、降雨災害が発生する確率を限界流量の関数としてプロットしたものであり、降雨災害発生確率が微小な値を取る領域を拡大するために縦軸を対数目盛にしてある。このように計算機上で降雨現象サンプルを容易に発生させる確率モデルを構築することにより、降雨災害発生確率が非常に小さな値を取る場合についても推定が可能であることがわかる。

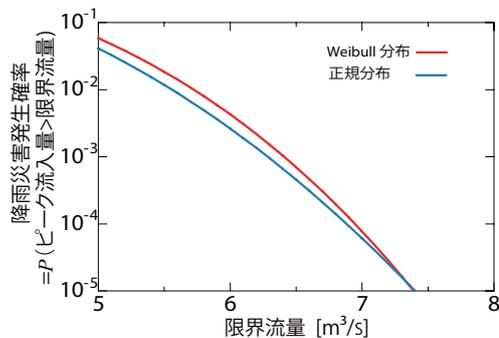


図6 降雨災害発生確率の推定結果

参考文献

- 1) 兼清泰明, 笠行健介, “集中型降雨過程の確率モデルの構築と降雨災害リスク評価”, 第23回関西大学先端科学技術シンポジウム講演集, pp. 153-155, 2019.
- 2) 森兼政行, 石垣泰輔, 尾崎 平, 戸田圭一, “大規模地下空間を有する都市域における地下空間への内水氾濫水の流入特性とその対策”, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.67, No4, I.967-I.972, 2011.