

地域の雨水排水能力の評価指標

(一社)全国上下水道コンサルタント協会 第22回技術研究発表会 優秀発表賞受賞

中日本建設コンサルタント(株) 永谷 すみれ 中根 進

1. はじめに

雨水は下水道事業で整備する排水施設だけではなく、**図-1**のように街路側溝や農業用排水路などを通じて公共用水域に排除されている。

地域の雨水排水能力を把握することは、地域の生活基盤を守るために重要なことであり、下水道事業による雨水整備の必要性、整備効果の評価に繋がると考えられる。雨水排水能力の把握には、一般的に既存排水路を測量や台帳などで調査を行い、排水システムの流下能力を算定し、降雨による流出量と比較することにより行っている。本報告は、既存の降雨データと浸水被害情報を使った指標を提案し、地域の総合的な排水能力を評価するものである。評価の対象とする地域は、下水道事業により雨水整備されていない地域と整備されている2地域の雨水排水能力である。

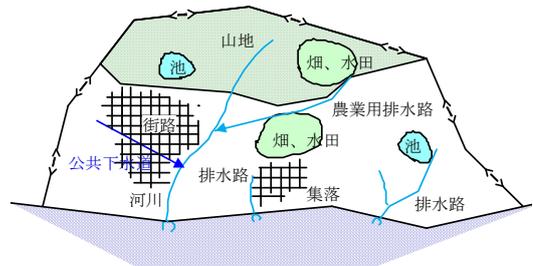


図-1 地域の雨水排水経路

2. 既存データの調査

2.1 降雨データ

雨水未整備地域と整備地域の2地域の降雨データは、同一気象台のデータであり、気象庁のアメダス年報¹⁾より過去20年程度(1986~2006)収集した。

下水道計画に使用する降雨強度式は、一般的に10分と60分降雨を用いている。アメダス年報¹⁾には10分単位の記録がないことから、1時間降雨量を抽出する。

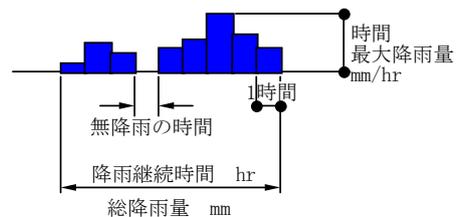


図-2 独立降雨の抽出パターン

下水道の排水区域は、河川と比べて排水面積が狭く、放流先に至るまでの流下時間が短い場合が多いので、**図-2**のように降雨中1時間の無降雨時間があれば、別々の降雨(独立降雨)とする。

なお合流改善計画では、「合流式下水道越流水対策と暫定指針」を準用し、4時間無降雨で0.5mm/回以上の降雨²⁾を独立降雨としている場合が多い。

表-1 「水害統計」による雨水未整備地域の浸水被害情報の一例

発効日	災害年	異常気象コード	災害名	発生月日
H2年2月	S63	1988		
H3年2月	H1	1989		
H4年2月	H2	1990		
H5年2月	H3	1991		
H6年2月	H4	1992		
H7年2月	H5	1993	0920	台風14号・豪雨
H8年2月	H6	1994		9月6日~9月10日
H9年2月	H7	1995		
H10年2月	H8	1996		
H11年2月	H9	1997		
H12年1月	H10	1998	245	梅雨前線豪雨
H13年2月	H11	1999		6月12日~6月28日
H13年12月	H12	2000		
H15年3月	H13	2001	320	豪雨及び台風15号
H16年3月	H14	2002		9月8日~9月12日
H17年3月	H15	2003		
H18年3月	H16	2004	465	台風22号
				10月8日~10月12日

2.2 浸水被害情報

内水による浸水被害情報は、自治体の防災担当部局などの情報や、地元への聞き取り調査等により、降雨日、降雨時間を特定し、床下、床上の浸水被害状況を把握するが、本報告では、国土交通省「水害統計」³⁾の情報を用いた。一例として、降雨データの収集と同じ期間における雨水未整備地域の浸水被害情報を表-1に示す。

2.3 警報・注意報発表基準

降雨による災害を未然に防止するため、警報・注意報が発せられるが、大雨注意報、警報を発令する降雨量は、地方气象台によって設定されている。

雨水未整備地域の過去20年間の1降雨当たりの総降雨量と時間最大降雨量の関係を図-3に示す。この地域の大雨注意報、警報の降雨量線を図-3に示すが、日付のある4件は、浸水被害の発生があった降雨である。4件はともに大雨警報より小さい降雨で浸水被害が発生しており、2001/9/11の浸水被害については、大雨警報、注意報以下で発生しており、降雨量だけでは浸水被害の発生を予測できないことを示している。

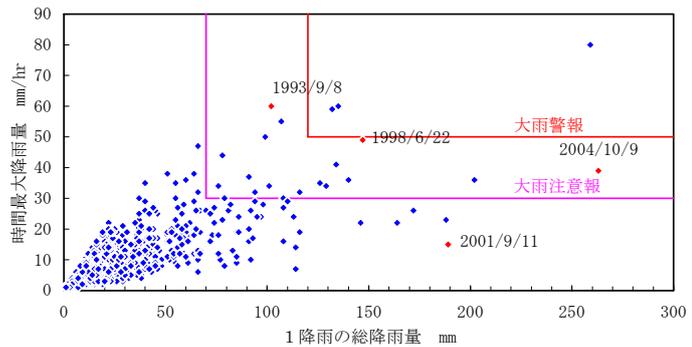


図-3 雨水未整備地域の警報・注意報と浸水被害

3. 地域排水能力の評価解析手法

3.1 降雨の特徴

降雨データのうち時間最大降雨量と降雨継続時間の関係を図-4に示す。図-4では、降雨回数が表現されていないが、小降雨の回数は著しく多い。降雨頻度を図-5に三次元で示す。

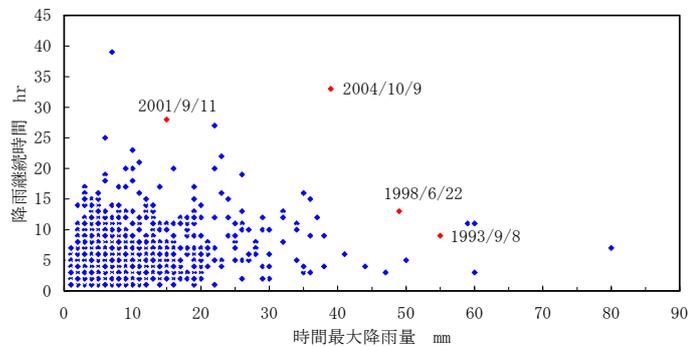


図-4 雨水未整備地域の降雨と浸水被害の関係

この降雨量と浸水被害実績(表-1)の関係を把握することにより、現況排水システムの流下能力を評価することができた。表-1の浸水被害について浸水発生日を付して図-4に併せて示す。

3.2 浸水被害の非発生確率

時間最大降雨量と降雨継続時間の間で浸水被害を表現するため、浸水被害の非発生確率を求め、これを地域の排水能力を評価する

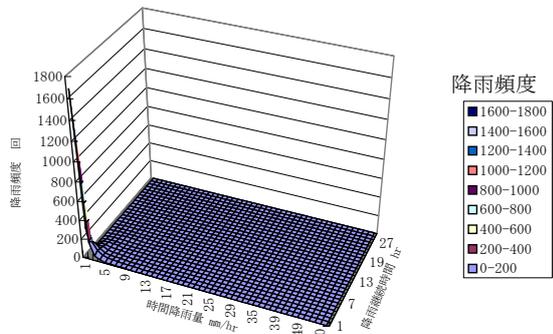


図-5 降雨の頻度

指標とする。

図-4の日付を付した降雨は、浸水被害をもたらしたが、同程度の降雨でも浸水被害が無い場合がある。例えば、ある量の降雨が3回あったとして、そのうち1回は浸水被害があったとすると、その降雨に対する浸水被害の発生確率は1/3である

降雨量に対する浸水被害の発生確率を(1)式で表わす。

$$\text{発生確率} = \frac{B}{A} \dots\dots\dots (1)$$

また、非発生確率 r を(2)式とする。

$$\text{非発生確率 } r = 1 - \frac{B}{A} \dots\dots (2)$$

Aは、図-6の斜線範囲の独立降雨の頻度を示す。Bは、図-7の斜線範囲の浸水被害の回数を示す。

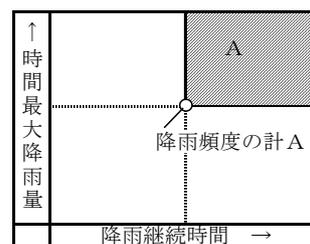


図-6 降雨特性と降雨頻度

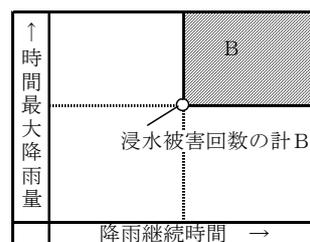


図-7 降雨特性と浸水被害回数

3.3 下水道雨水未整備地域の浸水被害の非発生確率分布

すべての降雨に対し(2)式で浸水被害の非発生確率値を算定する。また、降雨データのない降雨に対する非発生確率は、クリギング法と言われる空間データ補間法⁴⁾によって推定し、図-8に示す。時間最大降雨量と降雨継続時間の間の非発生確率を等値線として図-9に示す。この等値線を地域の排水能力評価線と考える。

「水害統計」³⁾に表れる浸水被害の非発生確率は、

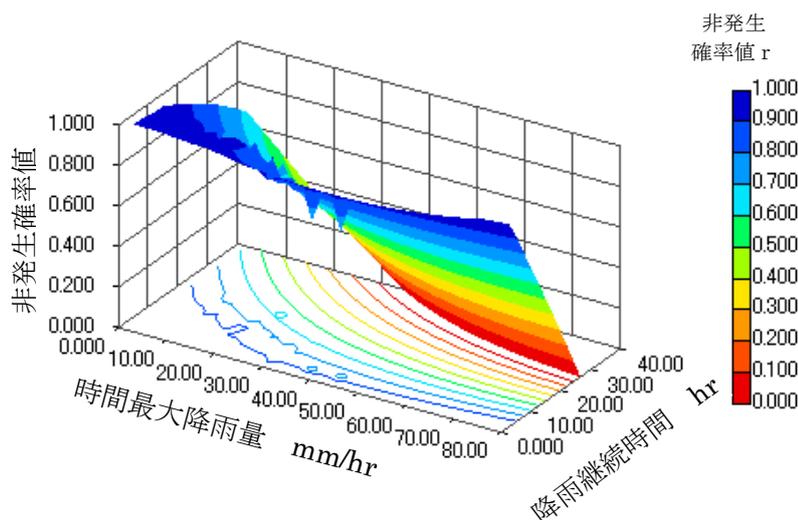


図-8 雨水未整備地域の時間最大降雨量と降雨継続時間に対する浸水被害発生確率

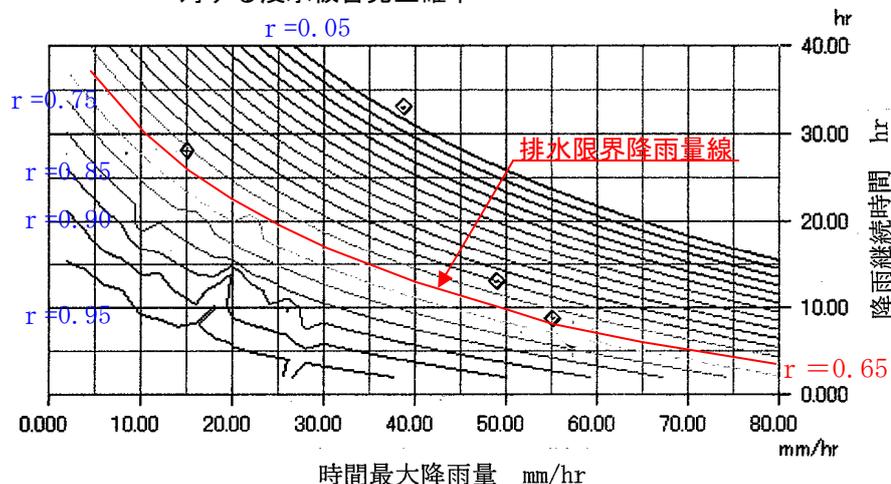


図-9 浸水被害非発生確率 r の等値線と排水限界降雨量

図-9の等値線から0.65以下である。この非発生確率0.65の境界線を排水限界降雨量線とし、地域の総括的な排水能力の限界を表わす。図-9では、排水限界降雨量線の非発生確率値 r は、0.65であるが、降雨データの更新により降雨データを増やすと(2)式右辺2項の分母 A が大きくなり、排水限界降雨量線の非発生確率値 r は、大となる可能性がある。排水限界降雨量線は、非発生確率 r の値よりむしろ、時間最大降雨量-降雨継続時間面上の線型や位置が地域の能力を表す。降雨データ更新により非発生確率値が大きくならないようにするには、(2)式を最大確率値で除すなどの方法で正規化しておく必要がある。

3.4 下水道雨水未整備地域の雨水排水能力

未整備地域の浸水被害の非発生確率と浸水による一般資産等被害額³⁾の関係を図-10に示す。

地域の排水能力としては、非発生確率で表現すると0.65以上の降雨に対応しているが、非発生確率が小さい雨(発生確率が高い雨)では、一般資産等被害額が急増する。図-9において非発生確率 $r = 0.6$ 以上となるような雨水排水整備計画を立案できれば、過去の浸水被害は半減でき、図-10の被害額も小さくなると考えられる。

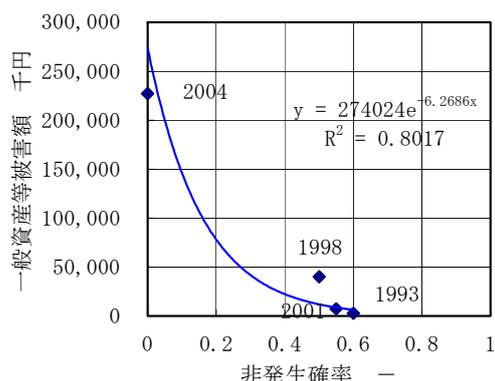


図-10 非発生確率と被害額³⁾の関係

3.5 下水道雨水整備地域の雨水排水能力評価

図-4と同一降雨に対し下水道で雨水整備された地域の降雨量と浸水被害の関係を図-11に示す。地形等の違いもあり、下水道整備だけによる効果か明らかではないが、未整備地域と異なり時間最大汚水量降雨量が45mm以下の雨での浸水被害が少なくなっている。また、1997/10/7の降雨(80mm/hr)と1994/9/17の降雨(60mm/hr)では、未整備地域では浸水被害が無いが、整備地域では被害の発生が見られる。図-11では、時間最大降雨量の大きい側に浸水被害が集まっているため、クリギング法で非発生確率の等値線を描くと図-12に示すように被害降雨より傾きの急な等値線

11に示す。地形等の違いもあり、下水道整備だけによる効果か明らかではないが、未整備地域と異なり時間最大汚水量降雨量が45mm以下の雨での浸水被害が少なくなっている。また、1997/10/7の降雨(80mm/hr)と1994/9/17の降雨(60mm/hr)では、未整備地域では浸水被害が無いが、整備地域では被害の発生が見られる。図-11では、時間最大降雨量の大きい側に浸水被害が集まっているため、クリギング法で非発生確率の等値線を描くと図-12に示すように被害降雨より傾きの急な等値線

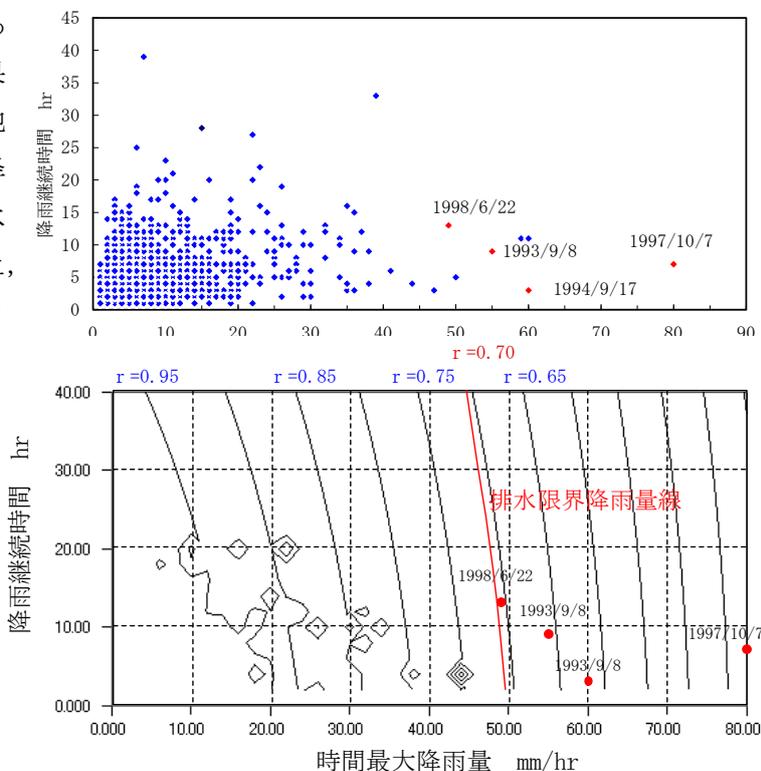


図-12 下水道整備地域の排水限界降雨量線

になる。クリギング法で描いた等値線から矛盾した線を削除し補正して、整備地域の排水限界降雨量線の非発生確率値は、 $r \approx 0.70$ であった。

4. 下水道雨水未整備と整備地域の比較

下水道事業での雨水未整備地域と整備地域の排水限界降雨量線の比較を図-13に示す。雨水整備地域は、降雨継続時間が長くても排水路に流下能力があれば、雨水排除が可能となり、排水限界降雨量線が未整備地域より立上った曲線になるものと推測される。

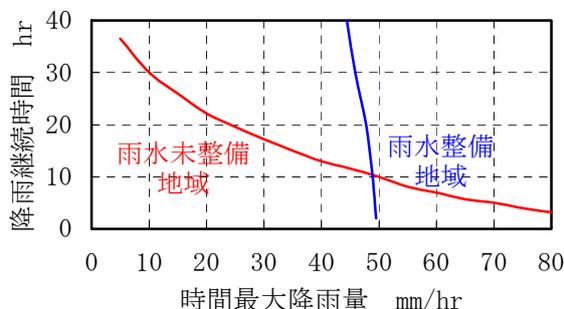


図-13 雨水未整備地域と整備地域の排水限界降雨量線

雨水整備された地域では、時間最大降雨量 80mm, 60mmの雨量に対して浸水被害が発生しているため、時間最大降雨量 50mm/hr 以上では排水限界降雨量線が未整備地域より低くなっている。これは地形勾配や低地の標高などの地域の自然的な要因や雨水ポンプの排水能力を超えた降雨量などによるものと推測される。

5. 排水限界降雨量線の検証

本報告の排水限界降雨量線は、1986～2006の降雨データと浸水被害の実績により作成したものである。2006年以降に、評価地域を含むこの地方を2つの大型台風が襲い、広範囲で浸水、土砂崩れの被害が発生した。この2つの台風の降雨(ハイトグラフ)は、図-14, 15の通りであった。この新たな降雨データを排水限界降雨量線の検証に用いる。

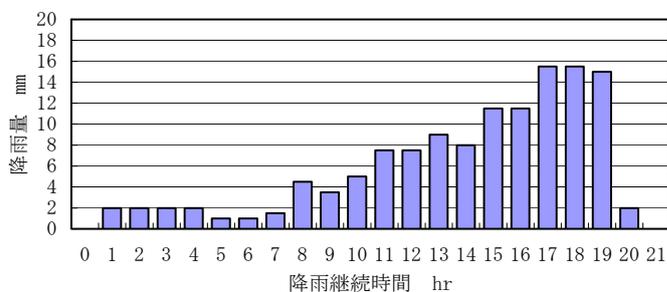


図-14 2009/10/7の降雨パターン

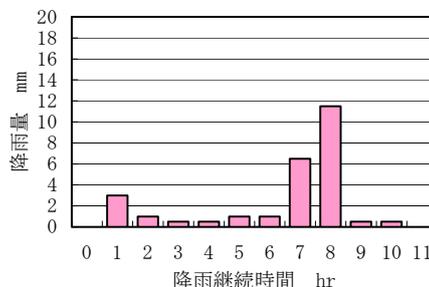


図-15 2011/9/4の降雨パターン

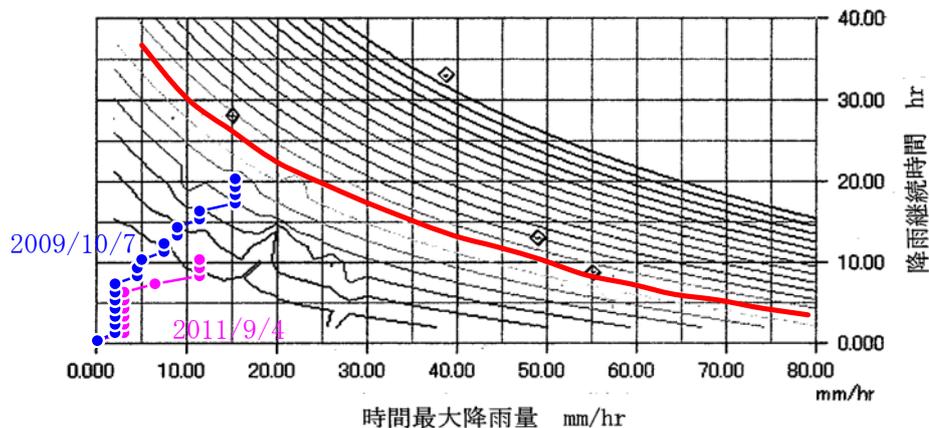


図-16 未整備地域の新たな降雨量による検証

これら2つの降雨の経過を雨水未整備地域(図-9)の浸水被害非発生確率図にプロットし、図-16に示す。降雨終了後も排水限界降雨量線に達することがなく、今回評価を行った雨水未整備地域では、実際に浸水被害が発生していない。時間最大汚水量降雨量が小さく、降雨継続時間の長い降雨に対して、排水限界降雨量線が有効であることが検証できた。もしこれら降雨により浸水被害が生じたならば、浸水被害非発生確率値を更新する必要がある。

6. まとめと今後の課題

浸水被害の非発生確率を用いた排水限界降雨量線で、地域の排水能力を表現することができた。下水道事業による雨水未整備地域と整備地域の排水限界降雨量線を示し、一事例ではあるが、その線型の違いによって雨水整備の効果を評価することができた。

また、「5. 排水限界降雨量線の検証」に示したが、浸水被害非発生確率の等値線図を降雨に対する浸水被害の警戒や警戒情報として利用できるものと考えられる。「水害統計」に記載される大きな浸水被害以外に地元などから寄せられる道路冠水などの小さな被害情報の降雨を含めて浸水被害非発生確率を算定し、等値線図を示すことにより、きめ細かい警戒情報を発信することが可能になると思われる。

本報告では、地域の大きさを考慮して無降雨の時間を1時間として独立降雨とした。しかし、河川流域が評価対象地域に比べて非常に大きい場合、河川の流下時間が長いので、地域での降雨が終了しても、上流域での降雨の影響を受け、地域内の河川水位が下がらず、結果として地域の内水が排除できない。このような現象がある地域では、無降雨時間を「合流改善指針」に合わせて4時間程度とするような独立降雨を使って解析することが必要である。

下水道で雨水整備された地域は、浸水被害回数が少なくなり、クリギング法による空間補間法では目論んだ非発生確率の等値線を描くことが難しく、傾向面モデル⁴⁾を用いた手法や放射状基底関数などによる回帰により推定する手法などを検討していきたい。

なお、本報告でクリギング法による非発生確率値の補間には、R言語Ver. 1.8.1上でgstat⁵⁾というパッケージを使用した。等値線や三次元グラフの表示には、Graph-R Ver1.91伊藤徹を利用した。

<参考文献>

- 1) (財) 気象業務支援センター：アメダス再統計値CD版
- 2) 日本下水道協会：合流式下水道改善対策指針と解説－2002年版－
- 3) 建設省河川局：水害統計 昭和63年版～平成16年版
- 4) 張 長平：地理情報システムを用いた空間データ分析 p140, 古今書院
- 5) 岡田 昌史編：The R Book p224, (株)九天社