

ゼロウォータービル設計に資する雨水利用計算ツールの開発

秋山 和也*¹

Keywords : zero water, ZWB, rainwater utilization, catchment area, rainwater storage

ゼロウォーター, ZWB, 雨水利用, 集水面積, 雨水貯留

1. はじめに

米国を中心に建物内での水の循環や地域水源への還元を促すゼロウォータービル(ZWB)の概念が提唱され、LEED^{注1)}では2018年からZero Water認証が開始されている。わが国においては、ZWBへの注目度が高まりつつある一方で、2014年には「雨水の利用の推進に関する法律」が施行され、ZWBの概念が広まる以前から雨水利用が推進されている。雨水利用は、建物における上水使用量の削減と代替水利用の観点から、ZWBの基本かつ重要な要素となっている。雨水利用の設計においては、立地の降水特性をもとに、集水面積や雨水貯留槽容量を適切に決定する必要がある。そのためのシミュレーション評価は、主にBEST^{注2)}による事例が報告されている¹²⁾。BESTは時刻別降水量や給水負荷変動を用いて、雨水利用率や上水代替率などが算出でき、詳細な設計検討が可能なツールとなっているが、直接的なZWB評価まで至っていない。

そこで本報では、ZWBを目指す建物の設計への活用を目的に開発した、初期検討として簡易的にZWB達成率を評価可能な雨水利用計算ツール(以降、本ツール)の概要と、本ツールを用いて得られたZWBの設計に資する設備容量の関係を報告する。

2. 雨水利用計算ツールの概要

2.1 計算モデル

雨水利用の検討では、降雨による雨水集水量、雨を貯める雨水貯留槽、建物での使用水量をもとに水バランスを計算し、各設備容量を決定する。本ツールでは、参考文献³⁾の計算フローをベースに、地域や集水面積、

雨水貯留槽容量からZWB達成率を求める。

本ツールにおける計算モデルを図-1に示す。雨水集水設備を介して雨水貯留槽に貯めた雨水を、雑用水としてトイレ洗浄水と緑地散水に利用するシンプルな構成とした。次に、計算フローを図-2に示す。計算は、簡易検討を目的に日積算データを用いることとした。先ず集水量 R は、集水面積 A と雨水集水有効面積率 α から求めた有効集水面積に降水量 a を乗じて求める。次に、 R と前日の貯水量 v と雑用水使用量 Q から貯水量 v' を算出する。その結果をもとにオーバーフロー判定を行い、 v' が雨水貯留槽容量 V を上回った場合は、オーバーフロー量 S を算出する。さらに、 v' が設定した上水補給開始水量 V_L を下回る場合は、上水補給を行う。ここで、上水補給量 CW は貯水量を確保するため、 Q と同量とする。上水補給の有無を含めて計算後の貯水量 v'' として求め、これを年間をとおして集計する。年間の集計値をもとに、2.3で後述するZWBの評価方法からZWB達成率を算出する。

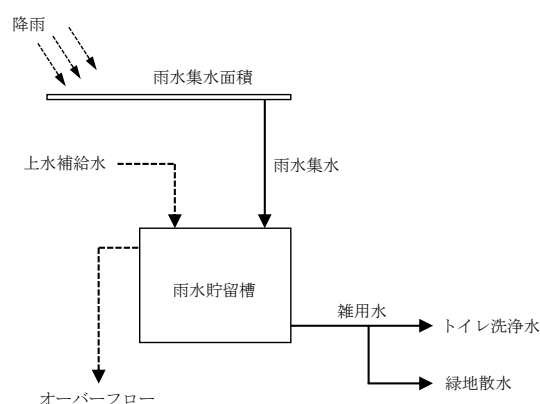


図-1 計算モデル
Fig.1 Calculation model

* 1 技術センター 都市基盤技術研究部 空間研究室

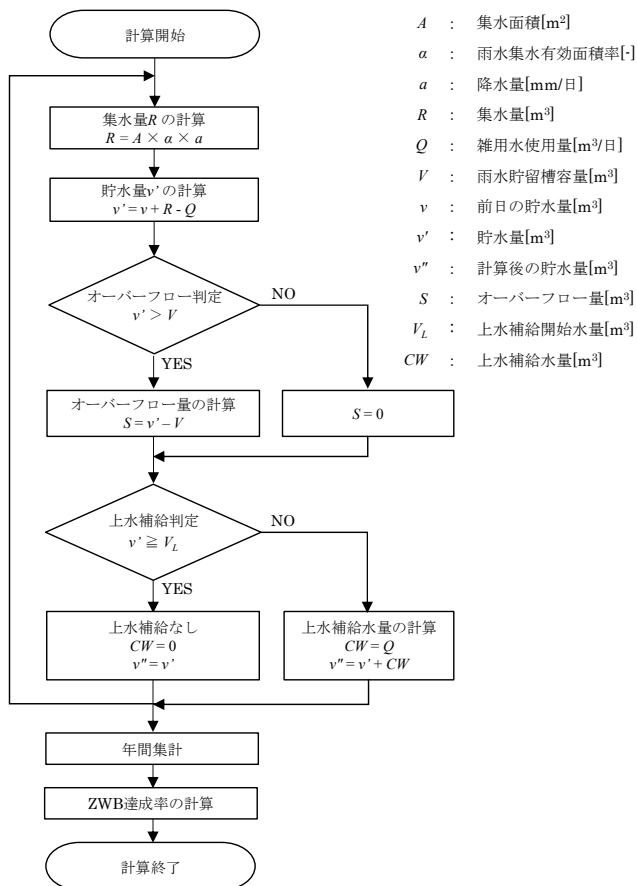


図-2 計算フロー
Fig.2 Calculation flow

2.2 入力項目および出力データ

本ツールで計算を行うための入力項目を表-1 に示す。雨水集水に関する項目は、地域と集水面積、初期雨水カットを入力する。地域設定では、日本の 47 都道府県の代表都市から選択することで、その都市における 2020～2024 年のアメダスデータの日降水量が設定される。また、建物情報として集水面積と雨水集水有効面積率を入力することで、有効集水面積が計算される。なお、集水面積計算出力間隔を設定することで、有効集水面積を含めて、その間隔ごとに 5 ケースの結果を出力する。初期雨水カットは、降水初期の雨水は集水面などの汚れを含んでいるため、排水する制御が行われることを想定して適宜設定可能としている。

雨水貯水に関する項目は、雨水貯留槽容量を入力する。雨水貯留槽容量は、自由入力となる。合わせて、雨水貯留槽計算出力間隔を設定することで、その間隔ごとに 5 ケースの結果を出力する。なお、上水補給については、上水補給開始水量、上水補給量ともに雨水貯留槽の貯水量を確保するため、日雑用水使用量と同量を基本とするが、自由入力も可能である。

水消費に関する項目は、日使用水量と上水比率、緑地散水情報を入力する。日使用水量は、設計時の想定水量とする。上水比率は、日使用水量の中で上水が占める割合を入力する。上水を除く割合が雑用水比率として設定される。なお、上水：雑用水比率は、上水 0.3～0.4：雑用水 0.7～0.6 が一般的である。設定した比率をもとに、日上水使用水量、日雑用水使用水量が設定される。緑地散水情報は、緑地散水の有無と、散水面積、単位散水量を入力する。散水面積と単位散水量を乗じることで日散水量が計算される。なお、本ツールでは緑地散水は、雑用水使用を前提としているため、日散水量は日雑用水使用量に合算する。また、緑地散水は降雨日以外、毎日行われるものとしている。

出力データとしては、上水補給量、オーバーフロー量、ZWB 収支、ZWB 達成率について、2020～2024 年の各年間集計値と平均値を算出する。これにより、集水面積や雨水貯留槽容量などを簡易的に検討することを可能としている。

表-1 入力項目
Table 1 Input Fields

項目	入力条件
【雨水集水】	
地域	47都道府県の代表気象台から選択
集水面積 A [m ²]	自由入力
雨水集水有効面積率 α	屋根面：0.85～0.95
有効集水面積 a [m ²]	$A \times \alpha$
集水面積計算出力間隔	自由入力
初期雨水カット[mm/h]	自由入力
【雨水貯水】	
雨水貯留槽容量 V [m ³]	自由入力
雨水貯留槽計算出力間隔	自由入力
上水補給開始水量 V_L [m ³]	Q (自由入力可)
上水補給量 CW [m ³]	Q (自由入力可)
【水消費】	
日使用水量[m ³ /日](a)	自由入力
上水比率(b)	0.3～0.4
雑用水比率(c)	$1 - b$
日上水使用水量[m ³ /日]	$a \times b$
日雑用水使用水量 Q [m ³ /日]	$a \times c$
緑地散水有無	○ or ×
散水面積[m ²](d)	自由入力
単位散水量[m ³ /m ²](e)	自由入力
日散水量[m ³ /日]	$d \times e$

2.3 ZWB の評価方法

ZWB の評価は、LEED Zero Water の評価式を用いて行う。その評価式を式(1)に示す。LEED Zero Water では、年間の上水使用量に対して、雑用水などの代替水使用量と水源への還元量の合計が同量以上であれば ZWB と

なる。出力データとなるZWB収支は、式(1)の算定結果を示し、それをもとにした式(2)からZWB達成率を算出している。なお、本ツールでは、水源還元量は計算対象外としている。

Water Balance = Total Potable Water Consumed
- (Total Alternative Water Used
+ Water Returned to Original Source) (1)

ZWB 達成率 = $\frac{\text{Total Alternative Water Used} + \text{Water Returned to Original Source}}{\text{Total Potable Water Consumed}}$ (2)

Total Potable Water Consumed : 上水使用量
Total Alternative Water Used : 代替水(雑用水)使用量
Water Returned to Original Source : 水源還元量

3. 計算事例

3.1 建物モデル

本章では、本ツールによる計算事例を示す。建物モデルは、日本建築学会環境工学委員会で提案された標準事務所ビル⁴⁾とする。建築面積は827m²、地上8階の建物で、2～8階の基準階は図-3に示すように、中央のコアエリアと2つの事務所エリアで構成される。1階あたりの事務所エリアの面積は605m²である。

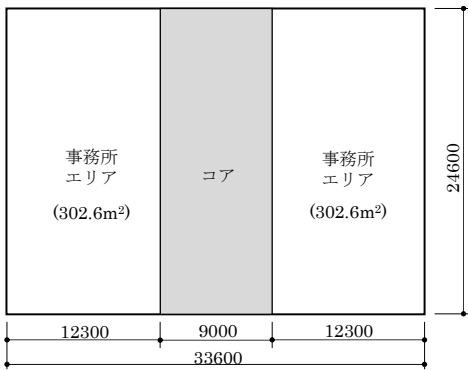


図-3 建物モデル
Fig.3 Building Model

3.2 入力条件

入力条件を表-2に示す。地域は東京とする。なお、図-4に示すように東京の年間降水量は、国内で概ね平均の降水量となる。雨水は屋根面(建築面積と同様と想定)から集水するものとし、有効集水面積は750m²(雨水集水有効面積率: 約0.91)とする。なお、初期雨水の0.5mm/hはカットするものとする。雨水貯留槽容量は3600m³とし、上水補給開始水量および上水補給量は日雑用水使用量と同量とする。

水消費は、本計算では人員と単位給水量から設定する。人員は事務所面積に対し、人員密度0.2人/m²と想定し、848人とする。単位給水量は50L/(人・日)とする。よって日使用水量は、42.4m³/日となる。上水: 雑用水比率は0.3: 0.7とし、日使用水量の内訳は上水が12.7m³/日、雑用水が29.7m³/日となる。なお、本ケースでは緑地散水は行わないものとする。

表-2 入力条件
Table 2 Input Parameters

項目	入力条件
【雨水集水】	
地域	東京
集水面積A[m ²]	827
雨水集水有効面積率α	0.91
有効集水面積a[m ²]	750
集水面積計算出力間隔	100
初期雨水カット[mm/h]	0.5
【雨水貯水】	
雨水貯留槽容量[m ³]	3600
雨水貯留槽計算出力間隔	200
上水補給開始水量[m ³]	29.7
上水補給量[m ³]	29.7
【水消費】	
日使用水量[m ³ /日]	42.4
上水比率	0.3
雑用水比率	0.7
日上水使用水量[m ³ /日]	12.7
日雑用水使用水量[m ³ /日]	29.7
緑地散水有無	×
散水面積[m ²]	-
単位散水量[m ³ /m ²]	-
日散水量[m ³ /日]	-

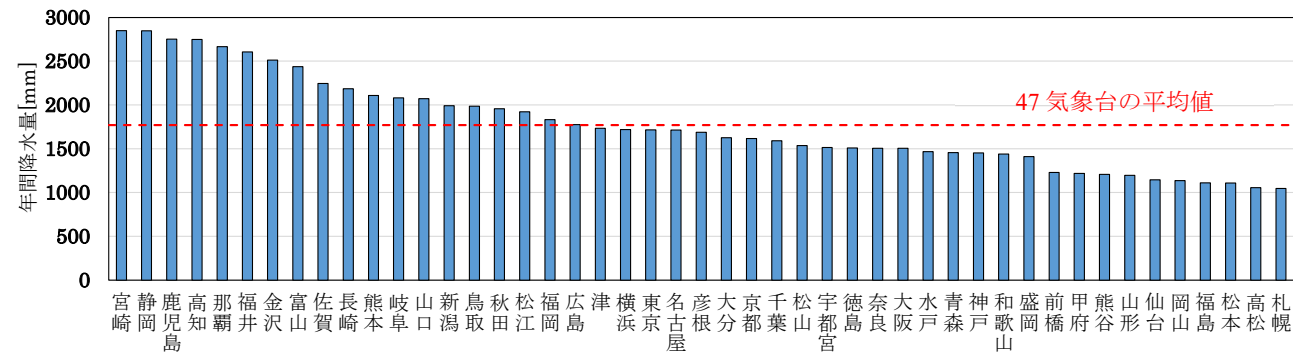


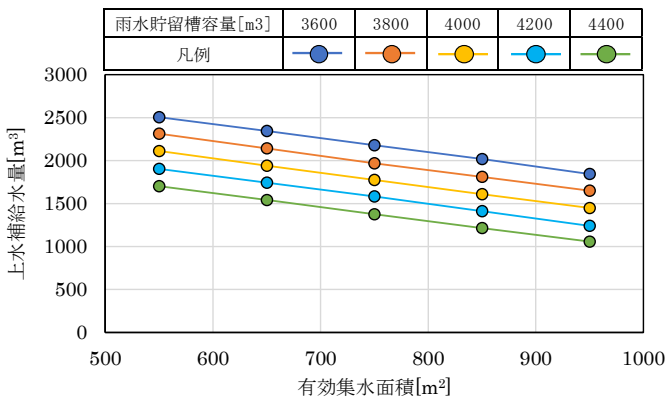
図-4 気象台ごとの年間降水量(2020～2024年の平均値)
Fig.4 Annual precipitation by weather station (2020～2024 average)

3.3 計算結果

図-5 に集水面積と年間上水補給水量の関係を示す。設定条件とした有効集水面積 750m^2 、雨水貯留槽容量 3600m^3 では、上水補給水量が年間で約 2200m^3 となった。図-6 に集水面積と年間 ZWB 収支の関係を示す。設定条件では、ZWB 収支は $+370\text{m}^3$ となり、LEED Zero Water の認証条件を達成しない結果となった。また、図-7 の ZWB 達成率をみると、約 90%にとどまった。

図-5～図-7 には有効集水面積を 50m^2 間隔で $550\sim 950\text{m}^2$ 、雨水貯留槽容量を 200m^3 間隔で 4400m^3 まで変化した結果を合わせて示した。その結果、同図で示した範囲では、有効集水面積に対して上水補給量と ZWB 収支は概ね線形に推移し、雨水貯留槽容量が大きくなるほど上水補給量と ZWB 収支は低下する結果となった。図-7 より有効集水面積 750m^2 で ZWB 達成率を 100%以上とする場合、雨水貯留槽容量は 3800m^3 以上確保する必要がある。

図-8 に年間オーバーフロー量を示すが、どの条件でもオーバーフロー量は同様の値で 0.1m^3 未満となった。



※結果は 2020～2024 年の平均値を示す(図-6～図-8 も同様)

図-5 集水面積と年間上水補給水量の関係

Fig.5 Annual potable water replenishment in relation to the catchment area

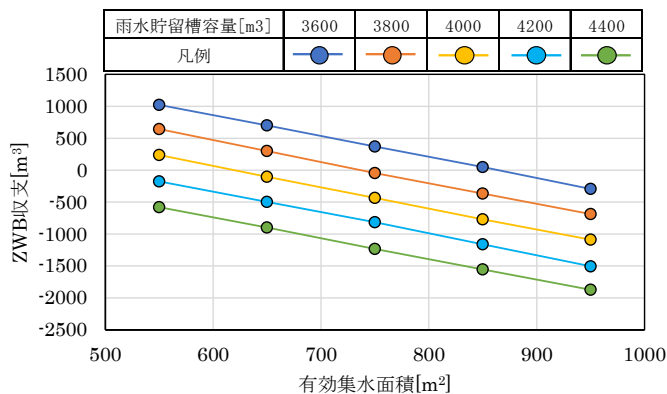


図-6 集水面積と ZWB 収支の関係

Fig.6 Annual ZWB balance in relation to the catchment area

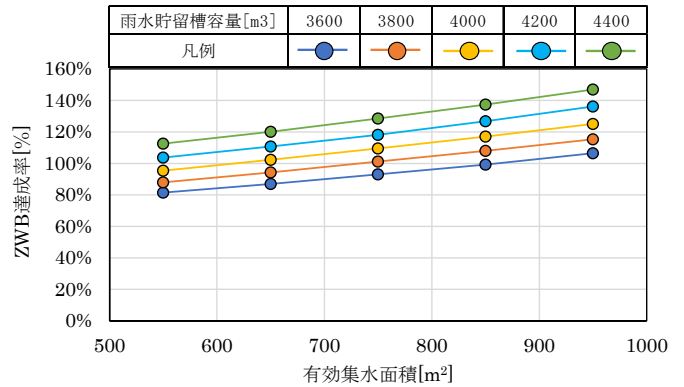


図-7 集水面積と ZWB 達成率の関係

Fig.7 Annual ZWB achievement Rate in relation to the catchment area

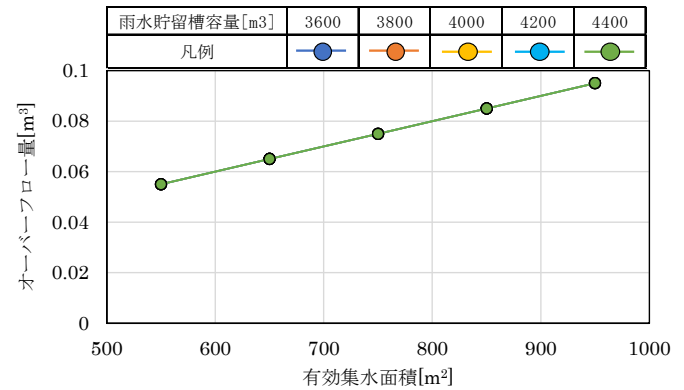


図-8 集水面積とオーバーフロー量の関係

Fig.8 Annual overflow volume in relation to the catchment area

4. ZWB に向けた設備容量の整理

前章までに示したとおり、ZWB の設計においては、使用水量をもとに集水面積と雨水貯留槽容量を適切に決定する必要がある。本ツールを用いて、それらの関係を整理した結果を後述する。

図-9 に ZWB 達成率が 100% となる時の有効集水面積と雨水貯留槽容量の関係を、建物規模(延べ床面積/建築面積)ごとに算出した結果を示す。なお、地域は東京、単位給水量は $50\text{L}/(\text{人} \cdot \text{日})$ とした。同図により、計画している建物規模に合わせて必要な有効集水面積と雨水貯留槽容量をより簡易的に設定することが可能となる。なお、有効集水面積が大きくなるほど、必要な雨水貯留槽容量が小さくなるが、建物規模ごとに一定の有効集水面積以上となった際に、必要となる雨水貯留

槽容量の低下率が減少することに留意が必要となる。これは、集水面積が大きくなるほど、一度に集水する雨水量が多くなるため、雨水貯留槽が満水になりやすいことに起因する。これにより、オーバーフロー量も増加するため、必要以上に集水面積を増やすことは、非効率となる。

図-10 に日使用水量(上水補給量は含まない)ごとに雨水貯留槽容量と ZWB 達成率の関係をまとめた結果を示す。なお、地域は東京、有効集水面積は 750m^2 、上水 0.3 : 雑用水 0.7 の比率とした。同図より、雨水貯留槽容量が増加するほど ZWB 達成率も増加することがわかる。しかし、日使用水量が増加するほど ZWB 達成率の増加率は低下する結果となった。これは、日使用水量に対して、雨水の集水量が少なく、ほぼ上水補給で賄っていることに起因する。ZWB を目指す中で、屋上のみからの集水とした場合、現実的に確保できる雨水貯留槽容量から鑑みると、日使用水量は $15\sim 20\text{m}^3$ 程度に抑える必要があり、建物規模でみると地上 4 階が限界になる考えられる。よって高層建物で ZWB を目指す場合は、集水面積を増やすため屋上以外からの集水を行うか、雨水だけではなく排水の再利用を導入する必要がある。

次に地域の違いによる ZWB 達成率の比較を行う。地域は東京に加え、図-4 から降水量が平均より多い静岡と金沢、平均に近い大阪、平均より少ない熊谷と札幌とした。なお、降雪による集水は本ツールでは計算対象外である。建物条件として有効集水面積は 750m^2 、日使用水量は 15m^3 とした。図-11 に雨水貯留槽容量を 500m^3 とした場合の年間降水量と ZWB 達成率の相関を示す。これより、年間降水量と ZWB 達成率は概ね線形の相関となった。図-12 に雨水貯留槽容量と ZWB 達成率およびオーバーフロー量の関係を各地点ごとに整理した結果を示す。ZWB 達成率 100% を目指す場合、雨水貯留槽容量は東京では 560m^3 程度必要になるが、降水量が多い静岡や金沢では 200m^3 で賄える結果となった。一方、降水量が少ない熊谷では約 1000m^3 、札幌では約 1100m^3 と東京の倍以上の容量が必要となった。オーバーフロー量は、雨水貯留槽容量が大きくなるほど低下するが、静岡においては雨水貯留槽容量が 200m^3 の場合で約 400m^3 のオーバーフロー量が発生する結果となった。よって、静岡においては集水面積と雨水貯留槽容量が同規模であれば、東京より日使用水量(建物規模)が大きくても ZWB を達成できるといえる。

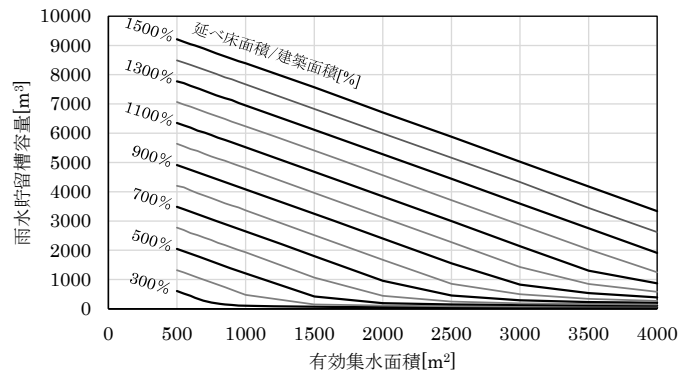


図-9 集水面積と雨水貯留槽容量の関係
(ZWB 達成率 : 100%)

Fig.9 Relationship between catchment area and rainwater storage tank capacity (ZWB achievement rate: 100%)

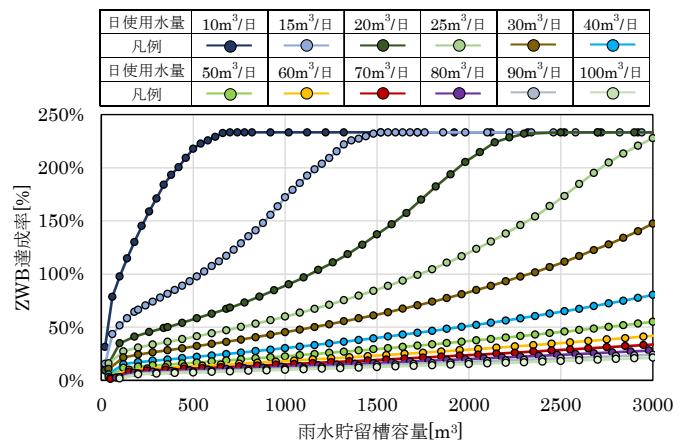


図-10 日使用水量に対する雨水貯留槽容量と ZWB 達成率の関係

Fig.10 Relationship between rainwater storage tank capacity and ZWB achievement rate with daily water consumption

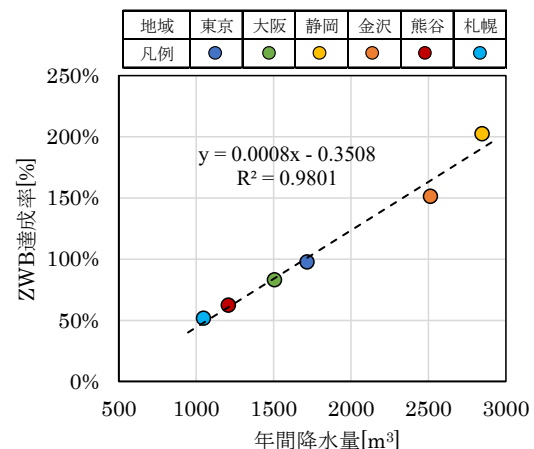


図-11 年間降水量と ZWB 達成率の相関

Fig.11 Correlation between annual precipitation and ZWB achievement rate

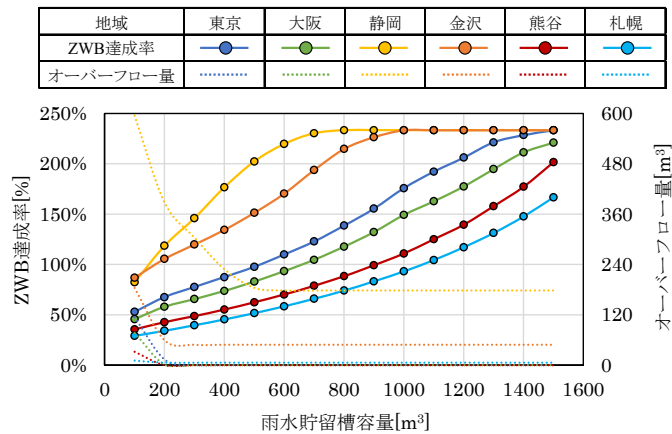


図-12 雨水貯留槽容量と ZWB 達成率
およびオーバーフロー量の地域別の比較

Fig.12 Comparison of ZWB achievement rate and
overflow volumes for rainwater storage tank capacity by region

5. まとめ

ZWB を目指す建物において、計画初期段階で集水面積や雨水貯留槽容量などを簡易的に検討するための計算ツールを開発し、その概要と計算事例を紹介した。また、本ツールを用いて ZWB を達成するための集水面積と雨水貯留槽容量の関係について整理を行った。

今後は、詳細検討に必要な時刻別評価を組み込むことと、水源還元や排水再利用の導入を検討可能なツールにアップデートする予定である。

注

- 注1) LEED(Leadership in Energy & Environmental Design) :
米国の非営利団体 USGBC (U.S.Green Building Council) が開発・運用し、GBCI (Green Business Certification Inc.) が認証の審査を行っている建物と敷地利用についての総合的な環境性能評価システム
- 注2) BEST(Building Energy Simulation Tool) :
建築物における空調、換気、照明、給湯、給排水、昇降機等の建物全体のエネルギー消費量を精度高くシミュレーションできるプログラム

参考文献

- 1) 長谷川巖, 大塚雅之, 小瀬博之: 負荷変動を考慮した雨水利用システムシミュレーションツールの開発に関する研究-計算手法の開発と省資源設計への適応-, 空気調和・衛生工学会論文集, No.310, pp.19-28, 2023.
- 2) 大八木潤, 西川豊宏: 事務所建物における給水原単位と雨水利用に関する調査研究 第2報-降水特性と雨水利用・流出抑制に関する考察, 空気調和・衛生工学会論文集, No.316, pp.9-15, 2023.
- 3) 社団法人 空気調和衛生工学会: 雨水利用の実務の知識設計・施工・維持管理マニュアル, pp.47-48, 2011.
- 4) 滝沢博: 標準問題の提案(オフィス用標準問題), 伝熱解析の現状と課題, 日本建築学会環境工学委員会, 熱分科会第15回熱シンポジウム, pp.35-42, 1985.