

流出抑制施設によるコミュニティレベルでの 治水効果の検証

浜田 晃規¹・島谷 幸宏²・渡辺 亮一¹・伊豫岡 宏樹¹・
皆川 朋子³・山下 三平⁴・森山 聡之⁵・角銅 久美子¹・山下 輝和⁶

¹正会員 福岡大学助手 工学部社会デザイン工学科 (〒814-0180 福岡市城南区七隈八丁目19-1)
E-mail:hamadateruki@fukuoka-u.ac.jp

²フェロー会員 九州大学教授 工学研究院 (〒819-0395 福岡市西区元岡744番地)
E-mail:shimatani@civil.kyushu-u.ac.jp

³正会員 熊本大学准教授 工学部社会環境工学科 (〒860-0004 熊本県熊本市中央区黒髪二丁目39-1)
E-mail:minagawa@kumamoto-u.ac.jp

⁴正会員 九州産業大学教授 工学部都市基盤デザイン工学科 (〒813-8503 福岡市東区松香台二丁目3-1)
E-mail:samp@ip.kyusan-u.ac.jp

⁵正会員 福岡工業大学教授 社会環境学部社会環境学科 (〒811-0295 福岡市東区和白東三丁目30-1)
E-mail:moriyama@gisight.org

⁶特定非営利活動法人南畑ダム貯水する会 理事長 (〒814-0153 福岡市城南区樋井川五丁目34-2)

福岡市を流れる樋井川流域では、流域住民自身が主体的に水害抑制に取り組む流域治水による水害対策を行うために取り組みを進めてきている。本河川では抜本的な河川改修が行われ、外水氾濫が発生するリスクは低減したものの、地域レベルで発生する内水氾濫についての課題は残されたままである。本研究では大きな水害をもたらす豪雨とともに、地域レベルの内水氾濫を低減することを目的に、下水道の上流側のコミュニティで雨水利用住宅が普及した場合の流出抑制効果の評価を行った。

Key Words : on sight storage, community runoff control, urban river, rain harvesting house

1. はじめに

(1) 樋井川の取り組み

福岡市では御笠川が1999年と2003年に氾濫し、2009年には九州北部豪雨によって那珂川・樋井川が越水し、大きな被害をもたらした。都市部では貯留・浸透機能が低下し、局地的豪雨の際に雨水が短時間で河川に流れ込むことが都市型水害の原因となると指摘されている。対策として、貯留浸透施設や調整池の増設、河川改修などが行われているが、これらの方法は財政の圧迫や長期に渡る建設となるうえ、広大な土地を必要とし、住宅地が密集する都市域では困難な場合が多い。研究対象としている樋井川は、福岡市中心部を流れる流域面積30km²、流路延長約13kmの典型的な都市中小河川で、流域内には約19万人が暮らしている¹⁾。都市化率は約7割に達し、常にゲリラ豪雨に伴う都市型水害による浸水被害に注意が必要な流域である。我々は樋井川流域での洪水対策として流域に住む住民自ら雨水を貯留し、貯留した雨水を利用することで集中的に洪水が流出することを抑制する取り組みを進めている²⁾。また、平成26年5月に雨水利用推進法

が施行されたことでこの手法はさらに注目されている。

(2) コミュニティ治水

河川改修などにより大規模な洪水被害が発生するリスクは減少しているものの、地形的に水が集まりやすい地区や下水道間の流下能力が低くボトルネックが存在するなどの理由から小規模の内水氾濫は解消されておらず各地域での対策が必要であり、各戸で雨水を貯留することで頻発する内水氾濫をコミュニティで解決を図ることも重要であると考えられる。そのためには各戸レベルの集水域を単位に下水管網・マンホールを表現し、分散型の流出モデルを構築し、自治会などのコミュニティレベルでの貯留浸透が治水効果を発揮することを明らかにする必要がある。また、雨水は貯めると資源となる。福岡市は過去に2度の給水制限を含む渇水を経験している。雨を貯めるだけでなく、利用することで平常時の利水に加えて緊急時用水となることが期待される。本研究では雨水の貯留がコミュニティレベルで発揮する効果と、緊急時用水の使用可能量から雨水貯留の有用性を示すことを目的としている。

2. 目的

本研究対象である樋井川流域には、雨水を貯めて普段の生活に利用する雨水利用住宅が2012年に竣工し、現在も利用している。今後、このような雨水の利用を念頭に置いた家屋が普及することを進めていくため、流出計算モデルに雨水利用住宅を取り込み、以下のことを明らかにすることを目的としている。

(1) 雨水利用住宅のコミュニティ治水への効果検証

実際に雨水利用住宅が普及した場合にどれだけ雨水の流出を抑制し、コミュニティレベルにおいて治水への効果を検証する。

(2) 渇水時の利水容量の検討

実際に建築されている雨水利用住宅に備わっている利水可能量をもとに、福岡市で2度生じた渇水年を含む6年間の降雨記録を用いて1日に利用可能量の下限値を算定する。これにより雨水を生活の中に取り入れることの有用性を示す。

3. 解析方法

(1) 対象河川および対象地区

a) 樋井川の概要

樋井川は、福岡市の西部を流れ博多湾に注ぐ本川延長12.9km、流域面積29.2km²の二級河川である。樋井川では平成21年7月の中国・九州北部豪雨を受け、樋井川床上浸水対策特別緊急事業として河川改修を行い、平成27年度をもって完了している。

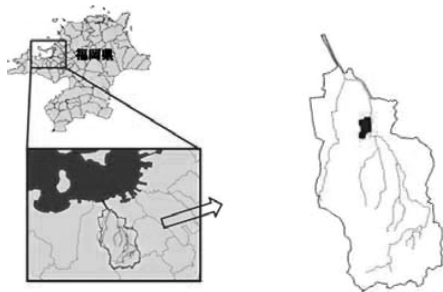


図-1 対象河川流域図

b) 田島地区の概要

本研究では、中国・九州北部豪雨において特に被害の大きかった樋井川中流域に位置する田島地区とした。田島地区は人口約1万人、家屋数4,800戸、面積1km²の人口密集地域である。このなかで、分流式下水道が整備されており、上流端から下流端が一つの下水道排水区として簡潔する田島下水道排水区(0.58km²)を計算対象領域として解析を行った。対象領域を図-2に示す。図中の枠線が田島

地区を示し、着色領域は計算対象領域を示している。この地区に雨水利用住宅も建築されている。



図-2 流出解析対象領域



図-3 解析対象領域内の管路網

(2) 内水氾濫状況

図-4は田島地区の標高を表している。この地区は図中青で示される低平地が橙で示される高台に取り囲まれている地形特性を持っており、高台に降った雨は急激に斜面をくだり、下水道雨水幹線に集まり、内水氾濫が生じる要因となっている。



図-4 解析対象領域内の管路網

図-5は福岡管区気象台の10分間降雨データを用いて短時間に降る降雨の発生回数を調べたものである。近年では毎年のように10分間に20mmを超える雨が降っており、短時間であるため洪水被害には至らないものの下水道の

処理能力を超えることによる内水氾濫が頻繁に生じていると考えられる。写真-1は、平成26年8月6日の降雨によって生じた内水氾濫の様子を示している。この時の雨量は短時間であったが、10分間最大17.8mmの降雨を観測した。

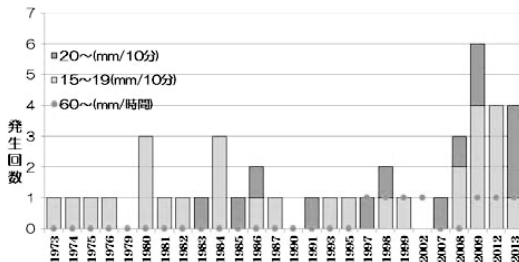


図-5 10分間と60分間の降雨量別の発生回数



写真-1 平成26年8月6日降雨による内水氾濫の様子

(3) 解析対象降雨

本研究では、解析対象領域へ大きな被害をもたらした平成21年7月24日の中国・北部九州豪雨(図-6)と近年で内水氾濫が生じた平成24年8月6日(図-7)の実績降雨を採用した。そのため、大きな災害をもたらす豪雨とともに、毎年内水氾濫を生じさせる可能性がある降雨を対象とした。

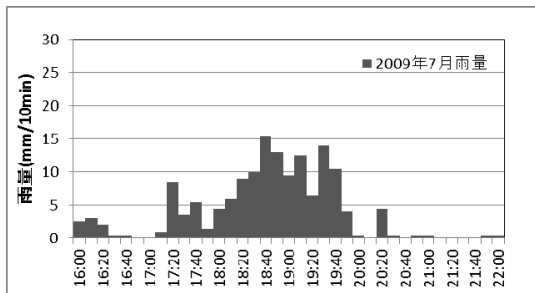


図-6 平成21年7月24日 10分間降雨量

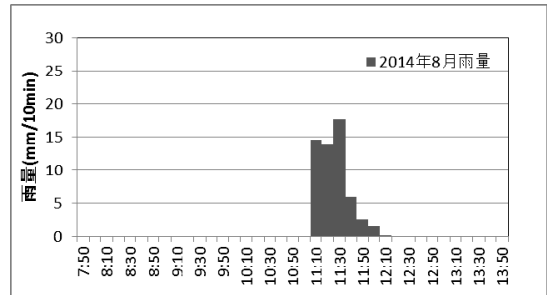


図-7 平成26年8月6日 10分間雨量

(4) 解析手法

本研究の流出解析では、使用実績が多く都市域からの雨水流出現象および管路内の流況についても解析できる汎用流出解析ソフトであるMIKEを使用した。対象領域である田島排水区内の雨水管のモデル化を行い、1次元管渠モデル(MIKE URBAN)を採用し、表面流出モデルは下水道計画において一般に用いられるT-A法(時間一面積法)を用いた。

(5) 管渠の計算手法

管内水理モデルは、表面流出モデルより算出された各管路内への流入量を用いて、質量および運動量保存則からなるサン・ブナン方程式により管路内の流れの解析を行っている。管路網は、雨水等の流入点であるマンホールと流水現象の起こる管路との組み合わせとしてモデル化を行い、合流、分水、越流(堰)、ポンプ等による流れの変化は、マンホールのみに生じるものとしている。管路における流入量と流出量の差はマンホールの貯留量の変化として表現される。なお、実際にマンホールが無い場合は仮想のマンホールを設置し管路網を組んでいる。管渠の計算を行う上での境界条件としては、上流端では降雨量、下流端では管路出口に河川水位を与えた。なお管路出口はフラップゲートが設置されており、逆流は生じない条件としている。

(6) 対象管路

コミュニティレベルでの流出抑制による治水効果を検証するため、1つの管路に注目し、その上流側の家屋が雨水利用住宅となったと仮定して解析を行う。対象とする管路は高台から低平地に急激に下り、田島排水区に中心を通る幹線に流れ込むため内水氾濫が発生する危険性が高くなっている。また対象管路を7つに分けて上流から下流にかけて順に管路1から管路7まで指定しており、それぞれの管路の各戸貯留前後のピーク流量を比較して効果を検証する。

(7) 流出抑制地域

流出抑制地域は、上流の管路1,2,3の管路流域にある個人住宅19戸を対象としている。19戸の個人住宅で後述の雨水利用住宅として各戸貯留した場合の流出抑制効果が、管路4から管路7のピーク流量にどれほどの影響をもたらすのかを求める。また各戸貯留を行う戸数は高台の管路流域にある個人住宅19戸で、対象領域の面積が4.5ha、各戸貯留を行う個人住宅の屋根面積は0.2haであり、対象領域の約4%で流出抑制を行った。



図-8 対象管路と流出抑制区域

(8) 雨水利用住宅

雨水利用住宅は、2012年4月に研究対象領域である田島地区に完成した(写真-2)。雨水利用住宅では屋根に降った雨を全て貯留することにある。図-9は雨水利用住宅のタンク配置図を示している。設置した地下貯留タンクは三つのパートに分かれており、一つ目は家の基礎を兼ねている地下タンクで容積は約173m³である。この地下タンクに貯留した雨水はトイレ・風呂・洗濯・庭への散水の水として利用している。ここでは貯め始めの雨水は不純物を多く含んでいるため、初期雨水カットされる仕組みになっている。二つ目は駐車場の下に埋設されているタンクで容積は約22.5m³である。家の中の地下タンクが満水になるとオーバーフローした雨水が駐車場のタンクに流れ込む構造になっている。このタンクは水害抑制のために一時的に雨水を貯留するためのタンクであり、貯まった雨水はゆっくり地下に浸透していく仕組みになっている。三つ目のタンクはビオトープ用のタンクで容積は約2m³であり、このタンクに貯まった雨水は庭のビオトープの循環に使用している。タンクの他にもオーバーフロー管の途中には浸透枡があり、そこからも地下浸透する構造になっている。雨水利用住宅では、雨量を設置するとともに貯留タンク内に水位計を設置し、タンク内の水収支についてモニタリングを行っている。



写真-2 雨水利用住宅外観

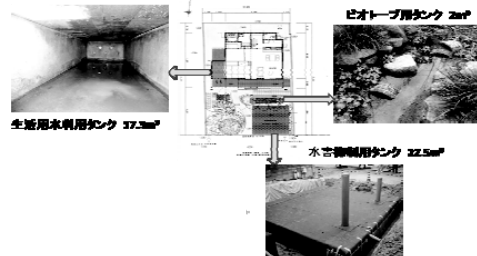


図-9 雨水利用住宅に設置された地下貯留タンク

(9) 雨水利用住宅のモデルへの適用

福岡市道路下水道局より提供された対象領域の下水道計画図の亀甲分割から雨水利用住宅の屋根面積を分割し、それぞれ一つずつノード(マンホール)と呼ばれる下水道と地上を連結する点を設ける。雨水利用住宅の屋根以外に降った雨はノードを通じて公共下水道に流れ落ちる。雨水利用住宅は個人住宅レベルのダムとして位置づけ、雨水利用住宅の屋根と直結した貯留タンクを地下に設定した。貯留タンクが流入してきた雨水で満たされた場合、公共下水道へオーバーフローするモデルとしている。貯留タンクの大きさは、実際に42m³が貯留可能であるため、高さを2.0mとして最小0m³～最大42m³のH-Q直線を与えている。

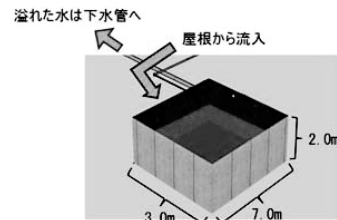


図-9 モデル化した地下貯留タンク

4. 解析結果

表-1および表-2に各降雨でのピーク流量を流出抑制前後で比較した表を示す。

表-1 平成21年7月24日 流出抑制後のピーク流量低減率

	各戸貯留前(m ³ /s)	各戸貯留後(m ³ /s)	前・後(m ³ /s)	低減率(%)
管路1	0.007	0.004	0.003	47.6
管路2	0.025	0.016	0.009	35.4
管路3	0.052	0.036	0.016	30.5
管路4	0.143	0.111	0.032	22.3
管路5	0.188	0.156	0.032	16.9
管路6	0.317	0.291	0.026	8.2
管路7	0.715	0.669	0.045	6.3

表-2 平成26年8月6日 流出抑制後のピーク流量低減率

	各戸貯留前(m ³ /s)	各戸貯留後(m ³ /s)	前・後(m ³ /s)	低減率(%)
管路1	0.007	0.004	0.003	48.0
管路2	0.024	0.016	0.008	34.4
管路3	0.052	0.037	0.015	29.2
管路4	0.144	0.111	0.033	23.1
管路5	0.190	0.154	0.035	18.7
管路6	0.320	0.288	0.033	10.2
管路7	0.743	0.690	0.054	7.2

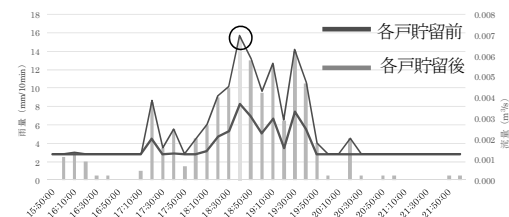


図-11 流出抑制前後の管路1における管内流量

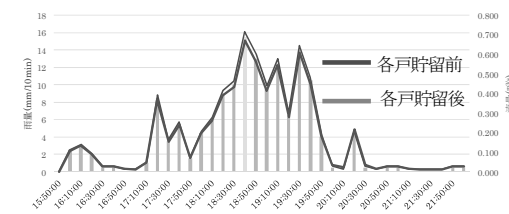


図-12 流出抑制前後の管路7における管内流量

図-11及び図-12はそれぞれ平成21年7月24日の豪雨時の管路1および管路7の管内流量を表している。管路1から7の流量変化を見ると、15：50から17：10まではそれほど大きく変化していないが17：20を機に雨量が増大しそれに伴って管路内の流量も増加している。最大の雨量を迎える18：40ではすべての管路においてピーク流量を迎えている。グラフの流量の変化を見ると、流出抑制を行っている上流の管路1，2，3においては各戸貯留前後で大きく流量が減少している。また流出抑制を行っていない管路4，5，6，7では個人住宅の屋根に降った雨が下水管に流れ込んでいるため、管路内の流量は大幅には減少していないものの、各戸貯留を行っていない地域でも確実に流量が減少していることが確認でき、コミュニティレベルでの取り組みが効果を発揮することがわかる。

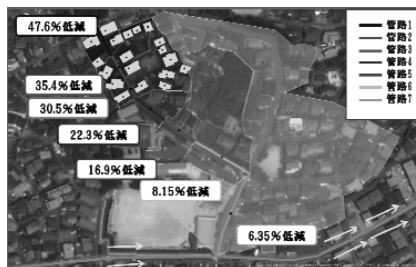


図-13 流出抑制効果の影響範囲

5. 利水に関する考察

(1) 渇水時利用可能量シミュレーション

福岡市は政令市で唯一市内に一級河川などの大河川がなく昭和53年と平成6年に当時全国で最長となるような長期的な給水制限を伴う渇水が発生した。近年、福岡市の人口は予測を上回るペースで増加しており今後もこの傾向が続くと考えられる。福岡市は昭和53年の渇水を契機に筑後川から福岡市に導水を始めたため、現時点では水資源問題は解決したと捉えられている。しかしながら、昨今の地球全域的な異常気象の状況を鑑みると平成6年渇水よりも更に降水量が少なくなることも十分考えられる。上述の結果により、雨水利用住宅が治水において効果があることは示されたため、ここでは渇水年である1978年と1994年とその前後一年の計六年間の降水量を用いて比較し、渇水時において雨水利用住宅がどの程度効果を発揮するのかをシミュレーションしその効果を明らかにする。

a) シミュレーション方法

算定開始n日目のタンク貯水量の残量 t_n (m³) は

$$t_n = t_{n-1} + S_f \times R_a / 1000 - W_d / 1000 \quad \text{式(1)}$$

村川らの式²⁾を用いて算定する。

ここで、 S_f ：雨水収集屋根面積 (m²)

R_a ：n日目の降雨量 (mm)

W_d ：一日の雨水利用可能量 (l)

シミュレーション対象期間中をとおして $t_n > 0$ の場合

は、さらに W_d を増加させて、タンクの貯水量の残量

$t_n < 0$ にならない最大の W_d の値をそのタンクの一日の雨水利用可能量とする。また、タンク内の容量が50%以

下になったとき30%の節水を開始するものとしている。

b) 利用可能量の算定結果

式(1)を用いて算定した渇水時(1977～1979年, 1993～1995年)の雨水利用住宅における一日の雨水利用可能量を表-3に示す。

表-3 雨水利用可能量算定結果

項目	設定値	単位	初期タンク容量 (m ³)	2015年平均貯留率	最少貯水量の日付	最少貯水量
1日目の貯水目安	8.65	m ³				
屋根面積: SF	128.9	m ²				
雨水利用可能量: Wd	337L (トライプル値)		11.19	64.70%	1994/12/31	0.07
節水係数1	0.3					
節水係数2	1.0					
標準貯水量: Ta	17.3	m ³				

初期のタンク容量は11.19m³で、気象庁より6年間分の降雨データを代入した結果、渇水時における雨水利用実験住宅の一日の雨水利用可能量は337ℓとなった。

図-15、図-16に渇水時における雨水利用実験住宅の6年間のタンク貯水量の推移を示す。

また、最少貯留量の日付は1994年12月31日となった。

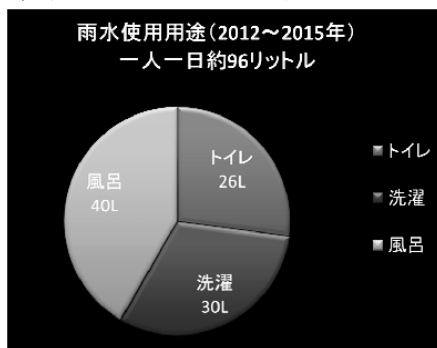


図-14 雨水利用住宅における雨水利用状況

図-14は2012年から2015年での雨水利用住宅での雨水の使用用途を示している。通常一人一日96ℓの雨水をトイレ、洗濯、風呂に利用している。渇水時の一人一日当たり使用できる雨水は84.25ℓ (337ℓを4人で使用)であるので渇水時においても十分に効果を発揮すると考えられる。

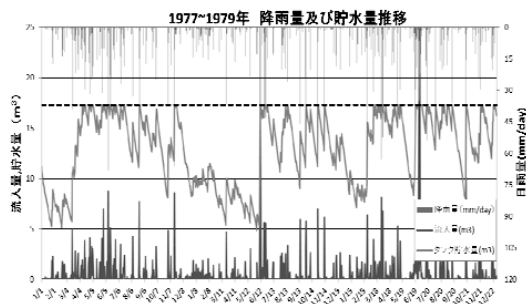


図-15 雨水利用実験住宅1977～1979年貯水量推移

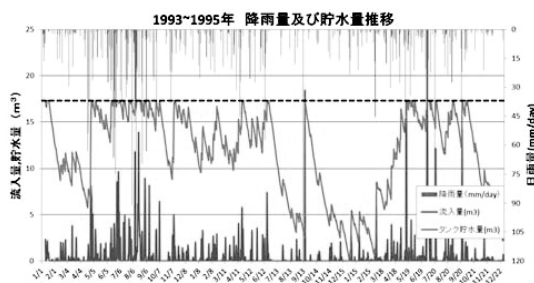


図-16 雨水利用実験住宅1993～1995年貯水量推移

謝辞：この研究の一部はJST-RISTEX(研究代表者:島谷幸宏)による助成で行われた。ここに記し謝意を表する。

参考文献

- 福岡県：樋井川水系河川整備基本方針，pp.2，2013.
- 村川三郎他：沖縄離島における住宅の水利用に関する研究治水-雨水利用を中心として-，日本建築学会計画系論文報告集，第368号，pp.58-60，1986.10.

(2016.8.26 受付)

STUDY OF OF FLOOD CONTROL EFFECT AT COMMUNITY AREAS BY RAINWATER HARVESTING HOUSE

Teruki HAMADA, Yukihiro SHIMATANI, Ryoichi WATANABE, Hiroki IYOOKA,
Tomoko MINAGAWA, , Sanpei Yamashita, Toshiyuki MORIYAMA,
Kumiko KAKUDO and Terukazu YAMASHITA

the resident in hiikawa watershed is working for flood control. The feature of the way isn't to depend on administration and to do by themselves. River conservation was performed in Hiigawa, so risk of Inundation by river water was reduced, but a problem of the Inundation inside the levee which occurs by the community level is while being left. In this study, we estimated runoff control effect using rainwater use housing by the community in the upstream side of sewage for the purpose of reducing a Inundation inside the levee as well as a torrential downpour.