

TSR モデルを用いた雨水貯留タンクによる洪水流出抑制効果の検討

首都大学東京	都市環境科学研究科	学生員	○高木	雄介
首都大学東京	都市環境科学研究科	正会員	天口	英雄
首都大学東京	都市環境科学研究科	正会員	河村	明
首都大学東京	都市環境科学研究科	正会員	中川	直子

1. はじめに

東京都内の代表的な中小河川である神田川流域では、排水能力の不足等による内水被害が大きな問題となっており、河川や下水道から溢れた雨水が都市の低地部や地下空間に流れ込み、ライフラインが麻痺するなど、都市特有の水害が発生している。平成 17 年には集中豪雨により東京都中野区、杉並区を中心にこのような都市型水害が発生した。浸水被害を軽減するためには、流域において雨水を地中に浸透させ、一時的に雨水を貯留して徐々に流す雨水貯留浸透施設を整備し、下水道や河川に流出する雨水量を抑制することが必要である。本研究で対象とする神田川流域は、昭和 54 年度から始まった「総合治水対策」により洪水氾濫対策として流域対策が盛り込まれ、一定規模以上の開発には浸透貯留施設設置の指導が行われている。近年では、雨水の流出抑制を目的とした雨水貯留施設だけでなく、雨水を積極的に貯留し水資源として活用していこうとする動きが多く自治体で見られ、2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災以降さらにその機運は高まりつつある。しかしながら、雨水利用を目的とした雨水貯留タンクにより豪雨時にどの程度の流出抑制効果が期待されるかは不明であるため、その効果を定量的に評価することは今後の浸水被害対策を検討する上で重要である。

そこで本研究では、神田川上流域を対象流域に設定し、雨水の流出過程を忠実に再現することができる地物データ GIS を用いた洪水流出解析モデル「Tokyo Storm Runoff (TSR) モデル^{1),2)}」を用いて、雨水利用を目的とした雨水貯留タンクによる雨水流出抑制効果の評価を行った。

2. 対象流域の概要

図-1 は本研究で対象とした神田川上流域の概要図である。神田川上流域は、東京都三鷹市にある井の頭池から善福寺川との合流地点までの流域面積 11.8 km²、流路延長 9 km となっている。神田川上流域における地表面地物要素数(表-1)は 104 598 であり、主要な内訳は建物要素数 34 300、道路要素数 45 105、河道要素数 320 となっている。また建物要素は、東京都 GIS の利用用途を用いて住宅と事業所に大別し、その結果建物要素の住宅数、事業所数はそれぞれ 30 125、4 175 となった。

3. 雨水貯留タンクの雨水利用長期シミュレーション

図-2 は本研究で用いた雨水利用長期シミュレーション³⁾の概念図である。ここで各建物の雨水利用量は、建物利用用途によって1人1日あたり雨水利用量^{3),4)}で0.04 m³、事業所で0.07 m³と与え、国勢調査の人口分布から各建物の居住者数、従業者数を算定することで算出した。図-3は雨水貯留タンクのシミュレーションフローである。建物の屋根への降雨のうち、9割が雨水貯留タンクへ一時貯留され、各時刻の生活用水として利用される。貯留量がタンク容量を超過した場合にはオーバーフローするものとし、貯留量が雨水利用量以下となった場合には上水を用い不足分を補うものとした。

計算時間隔は1時間で行い、各時刻の貯留量を建物要素毎に出力した。表-2は本研究で設定した建物要素の雨水貯留タンク容量である。建物に設置する雨水貯留タンク容量は、屋根への降雨量を、敷地面積が狭い住宅の場合は100mm、150mm、敷地面積の広い事務所は150mm、200mmまで貯めることができるように設定し、シミュレーションは Case A から

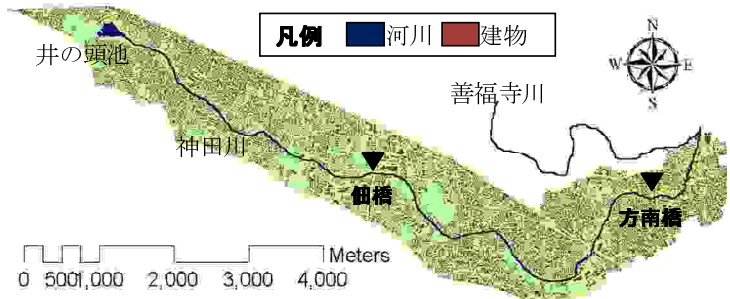


図-1 神田川上流域の概要

表-1 土地利用地物要素データ

土地利用種別	要素数	面積(m ²)
建物	34,300	3,403,843
道路	45,105	1,786,316
その他不浸透域	3,097	1,012,000
間地	17,053	3,552,426
公園	281	90,538
緑地	3,594	1,212,546
畑	483	188,587
グラウンド等	676	280,270
合計	104,589	11,526,526

Case Dの4ケースを行う。期間は気象庁アメダス府中の1時間値雨量を用い、2000年1月～2010年12月までのシミュレーションを行った。

図-4はシミュレーション結果の一例として2010年の貯留量変化を示す。雨水利用量は同一で雨水貯留タンク容量のみが異なるので、各ケースの貯留量は10月に総貯留量に達しているなど、各ケースともに同様な変動を示している。流域全体の総貯留量は、建物面積のうち住宅が約81%と住宅に設置された雨水貯留タンク容量に大きく影響を受けるため、タンク貯留量の時系列変化もCase AとCase B、Case CとCase Dであまり差異がみられない。

表-2に雨水貯留タンクの雨水利用について全期間の平均雨水利用率および平均不足水量率を示した。雨水利用率は、Case AとCase Bの場合46.4%、Case CとCase Dの場合は45.2%で、貯留容量の大きい方が雨水利用率は高く不足水量率は低いことが分かる。

豪雨時の雨水貯留タンクの流出抑制効果の検討を行うにあたり、本シミュレーション結果から豪雨直前の雨水貯留タンクの貯留量について整理を行う。本研究では解析期間の東京都水防災システム方南水位観測所において1時間あたり30cmの水位上昇が観測された118洪水を対象に行った。表-3にケース毎の貯留量特性として最小・最大・平均値、および下位25%値、50%値、下位75%値のパーセンタイル値を示した。豪雨時直前の貯留量割合は最小でも約30%、下位25%値で約70%、下位50%値で約80%となっており、平均的にみて洪水調節に利用できる容量は20%程度であることが分かった。

4. TSR モデルによる 雨水貯留タンクの流出抑制解析

本研究で用いる TSR モデルが現在多用されている分布型流出モデルと大きく異なる点は、地表面の形状をグリッド型で与えるのではなく、地物データ GIS を用いて地表面の土地利用を忠実に表現する点である。TSR モデルが対象とする雨水流出過程を図-5 に示す。代表的な雨水流出過程を述べると、流域内への降雨は高度な地物デー

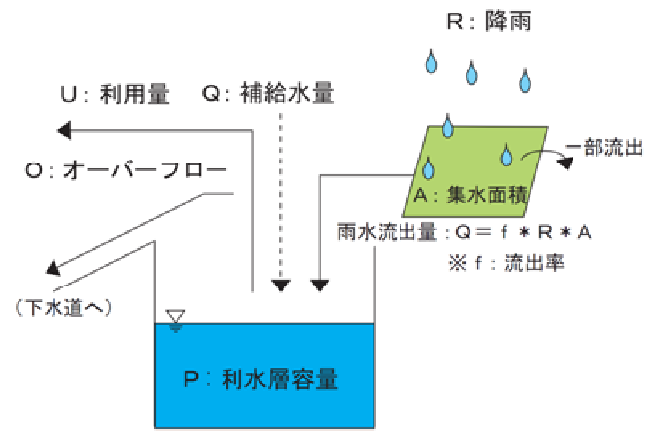


図-2 雨水貯留タンクモデル図

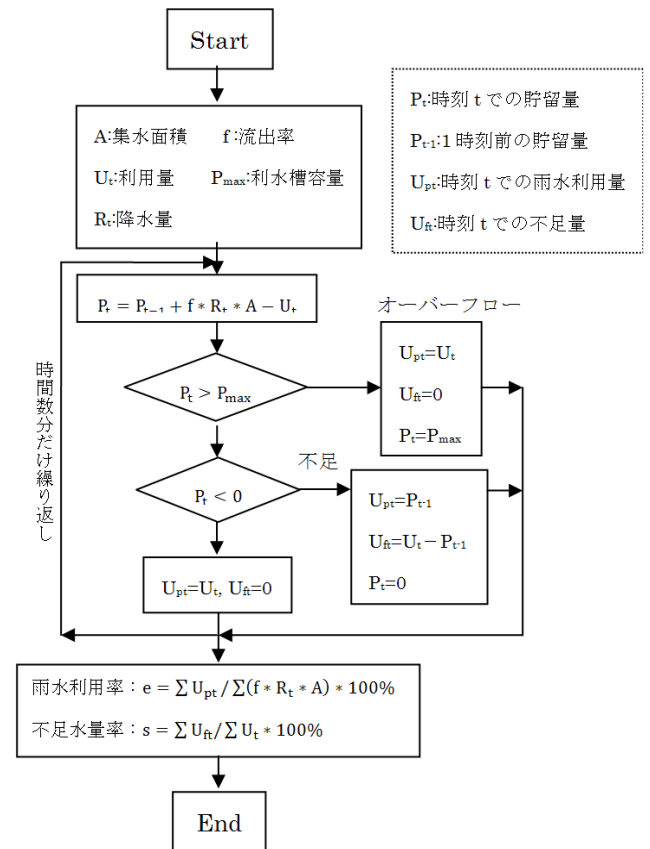


図-3 雨水貯留タンクフロー

表-2 諸元とシミュレーション結果

	Case A	Case B	Case C	Case D
住宅 対策量(mm)	150	150	100	100
貯留容量(m ³)	395,212	395,212	258,501	258,501
事業所 対策量(mm)	200	150	200	150
貯留容量(m ³)	94,966	127,265	94,966	127,265
貯留容量(m ³)	522,477	490,178	385,766	353,467
雨水利用率(%)	46.4	46.4	45.2	45.2
不足水量率(%)	2.7	2.7	4.6	4.7

表-3 降雨開始直後のシミュレーション結果

	Case A	Case B	Case C	Case D
最小貯留量(m ³)	174,932	143,178	128,414	96,668
貯留割合(%)	33	29	33	27
25%貯留量(m ³)	395,764	363,801	276,148	244,190
貯留割合(%)	76	74	72	69
50%貯留量(m ³)	446,940	414,884	325,045	292,993
貯留割合(%)	86	85	84	83
75%貯留量(m ³)	488,231	456,047	359,683	327,502
貯留割合(%)	93	93	93	93
最大貯留量(m ³)	521,623	489,339	385,660	353,369
貯留割合(%)	100	100	100	100
平均貯留量(m ³)	432,131	400,063	310,708	278,640
貯留割合(%)	83	81	81	79
総貯留容量(m ³)	522,477	490,178	385,766	353,467
平均空き容量(m ³)	90,346	90,115	75,070	74,839

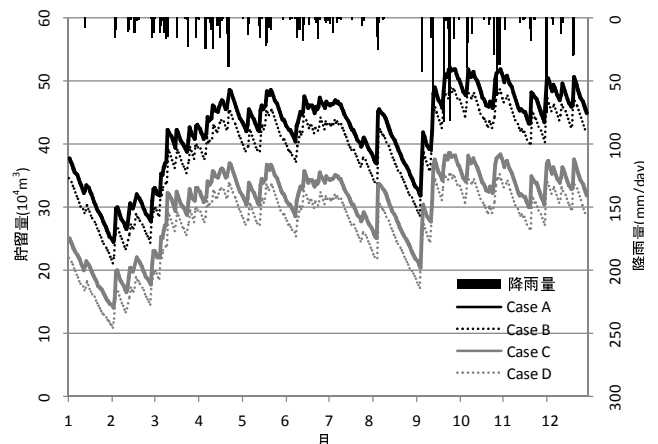


図-4 総雨水貯留量の時系列変化の一例

タ GIS から作成される土地利用地物要素 それぞれに与えられる．街区内では，土地利用地物要素 が持つ浸透・不浸透特性に応じて不浸透域の降雨および浸透域の浸透能を超えた降雨を直接流出として計算し，建物の雨水は近傍の道路要素 への流出量として算定する．道路要素の雨水は，その要素内にマンホールが存在する場合には雨水・下水道管路に流入し，存在しない場合には道路要素上を流下する．こうして，雨水・下水道管路へ流下した水は数々の管路網を合流して最終的には河川要素に流出して流域外へと流去する．雨水貯留タンクの流出抑制解析では，建物要素からの雨量のうち 9割が 3. において設定した貯留タンクに流入するものとした．

入力降雨は気象庁東京管区气象台雨量データより作成した 10 年，15 年および 20 年確率の中央集中型である．洪水流出シミュレーションに用いたパラメータは，文献等から標準と思われる値を設定した²⁾．合流式下水道による流域外への最大雨水排水量は，流域外に接続する下水道の流下能力から見積もと約 $6\text{m}^3/\text{s}$ と算定された．洪水流出解析では，この値を雨水・下水道管路から河道への排水地点において排水区域面積割合で割振り，TSR モデルにより解析された河道への排水量から差し引いた．洪水流出解析は，貯留容量が最大となる Case A と貯留容量が最小となる Case D を対象とした．なお，本シミュレーションの実行時間は，Intel core i7 930 の CPU を利用して約 7 日間を要している．

まず，雨水貯留タンクの最大効果を把握するため，初期貯留量をゼロと設定した場合の洪水流出解析を行った．図-6 は，方南橋地点における 10，15，20 年確率の流量ハイドログラフを示したものである．ピーク流量は，雨水貯留タンクを設置しない場合より，10 年確率降雨で 28%，15 年および 20 年確率降雨でも 26% の低減し，およそ家屋面積率 29% 相当の効果が得られている．

次いで，建物要素に設置されている雨水貯留タンクの雨水利用を想定した場合についてシミュレーションを行う．3. において得られた結果より，豪雨直前の初期貯留量として下位から 25% 値および 50% 値を設定し，15 年確率降雨を用いて洪水流出解析を行った．なお，有効貯留量は下位から 25% 値の場合，Case A の 12.7万 m^3 ，Case D の 10.9万 m^3 で，50% 値の場合，Case A の 7.6万 m^3 ，Case D の 6.0万 m^3 である．図-7 は，方南橋地点での河道流量で，それぞれ 25% 値，50% 値を示したものである．ピーク流量の減少率は有効貯留量を反映し，25% 値の場合 Case A で 5.7%，Case D で 5.1%，50% 値の場合 Case A で 3.0%，Case D で 2.3% と初期貯留量がゼロの場合と比べて大幅に減少した．

雨水・下水道管路の小排水区に着目し，管路から河道への排水量比較を行う．図-8 は河道番号 175（佃橋の 1 km 下流地点）における，降雨確率 15 年を用いて解析された排水量を，現状，最大効果量の Case A（図-6(b)）および下位 25% 値で評価した Case D（図-7(a)）について示したものである．方南橋地点で評価した Case D の河道流量は現状から 5.1% 減少しているにもかかわらず

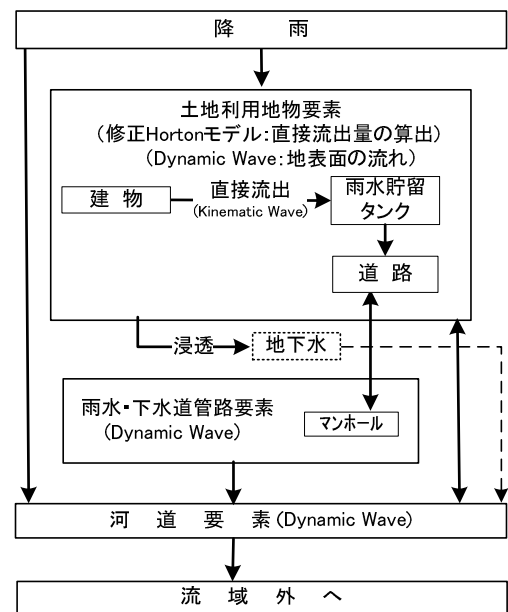


図-5 TSR モデルの概要

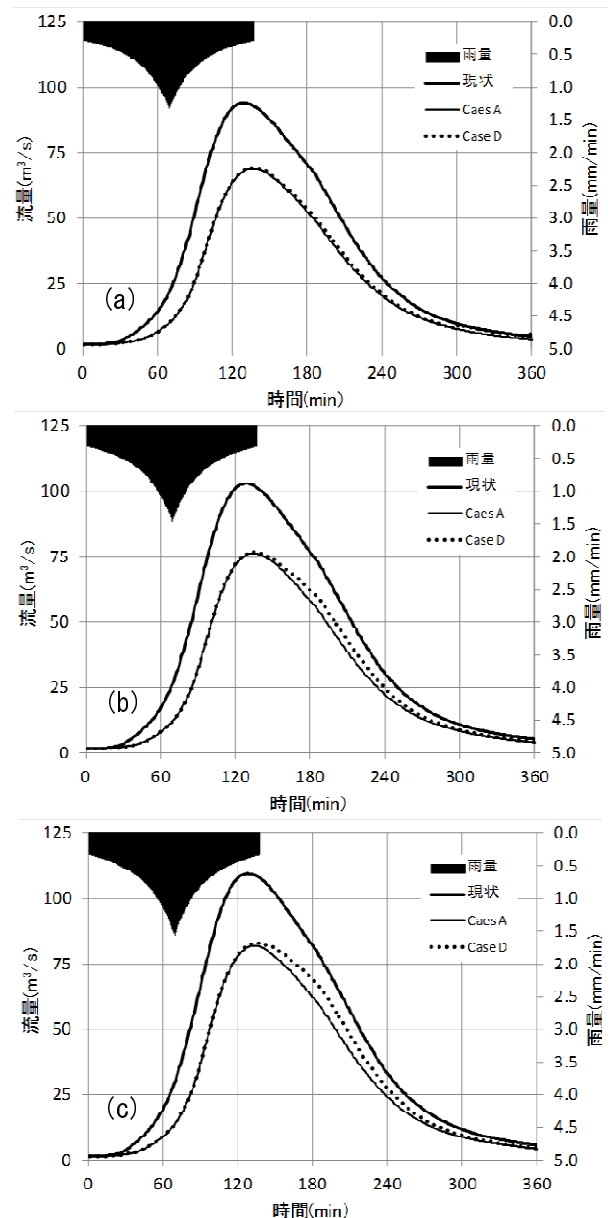


図-6 中央集中型降雨による方南橋地点の計算河道流量，(a) 10 年確率，(b) 15 年確率，(c) 20 年確率

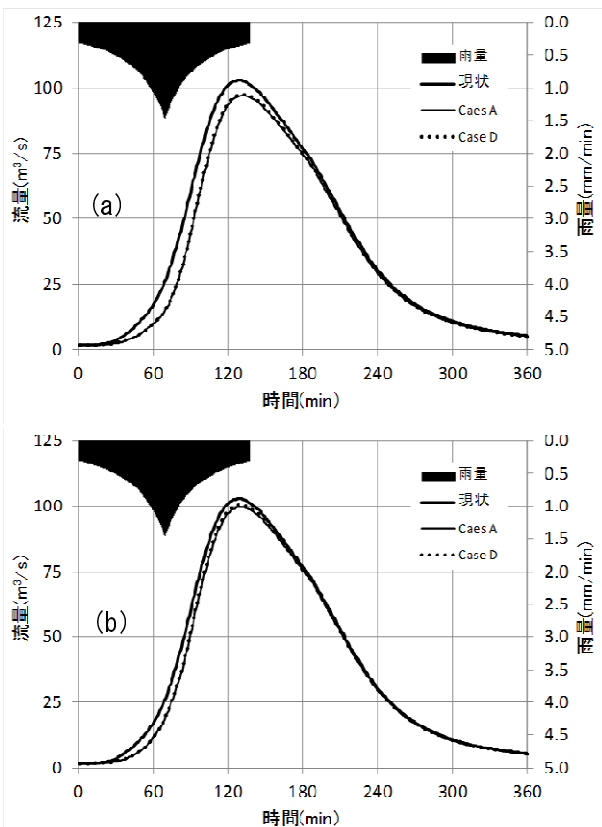


図-7 豪雨直前の初期貯留量を考慮した場合の方南橋地点の河道流量，(a)下位 25%値，(b)下位 50%値

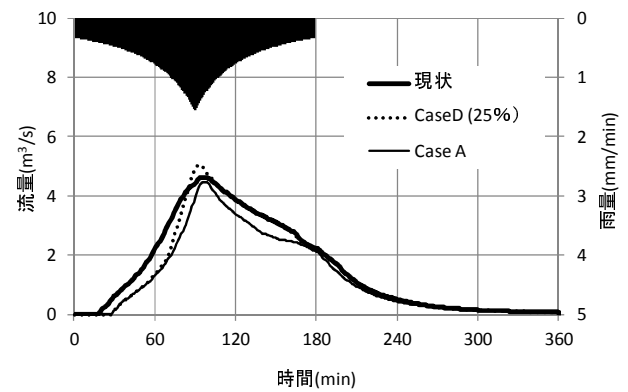


図-8 小排水区から河道への排水量

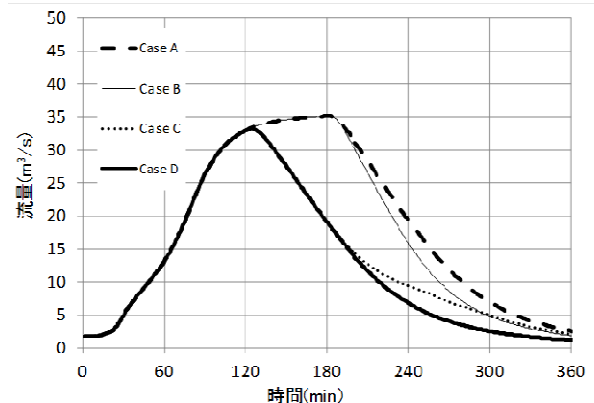


図-9 雨水貯留タンクからの放流シミュレーションによる方南橋地点の河道流量

らず，小排水区からのピーク流量は約 9%増加した．降雨開始後から 60 分間経過後に，貯留タンクが満杯になり全量の雨水が流出し始めたことにより流出率が上昇し，降雨強度の上昇とも重なって雨水が下水道管路に集中し，ピーク流量が増加したものと考えられる．

最後に，雨水貯留タンクを治水目的として利用する場合に，豪雨直前に貯留タンクから放流することも想定され，この放流量が河道流量に与える影響について解析を行った．雨水貯留タンクの初期流量は満杯とし，放流量は雨水・下水道管路からの溢水がない程度を想定し，50mm/hr を設定した．図-8 は解析により得られた方南橋地点の河道流量である．放流量が一定であるために，雨水貯留タンクの容量が Case A, B の 50 万 m^3 程度でピーク流量は $33\text{m}^3/\text{s}$ で，Case C, D の 40 万 m^3 程度でピーク流量は $35\text{m}^3/\text{s}$ で差は $2\text{m}^3/\text{s}$ と僅かであるが，Case A, B では容量の 10 万 m^3 によりピーク発生時刻が 60 分遅れている．なお，方南橋での河道流量 $35\text{m}^3/\text{s}$ は既往洪水から 35mm/hr の降雨強度に相当することを確認している．

5. むすび

本研究では，建物に設置する雨水利用を目的とした雨水貯留タンクの流出抑制効果について，個々の建物からの洪水流出量を解析することができる TSR モデルを用いて，神田川上流域を対象に評価を行った．雨水貯留タンクの最大効果は，建物からの初期雨量 100~150mm を貯留させた場合，河道のピーク流量を約 30%低減させることが可能である．雨水貯留タンクを雨水利用のみの目的で運用した場合は，豪雨直前の貯留率はパーセンタイル値の下位 25%で 70%，下位 50%では 80%となり，河道のピーク流量低減率は約 5%低いため，流出抑制効果を上げるには雨水貯留タンクの構造や雨水利用について何らかの対策が必要であろう．また，満水の雨水貯留タンクからの放流シミュレーションを行った結果，河道では約 35mm/hr に相当するピーク流量が発生することが想定されるため，雨水貯留タンクからの事前放流には注意が必要であろう．

参考文献

- 1) 天口英雄，河村明，高崎忠勝：地物データ GIS を用いた新たな地物指向分布型都市洪水流出解析モデルの提案，土木学会論文集 B，Vol.:63, No.3, pp.206-223(2007)．
- 2) 天口英雄，河村明，高崎忠勝，中川直子：個別の地物情報を考慮した密集市街地における Tokyo Storm Runoff Model の提案，水工学論文集，第 55 巻，pp.S517-S522，2011．
- 3) 社団法人 雨水貯留浸透技術協会：雨水利用ハンドブック，pp.155-190，1998．
- 4) 小瀬博之，村上周三，大塚雅之，長谷川嶽：外皮・躯体と設備・危機の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発(その 54)，雨水利用プログラムによる計算事例，pp 699-702，2009．