

## バイオレテンションとバイオフィルタレーションの最良管理実践

バイオレテンション（生物浄化）とバイオフィルタレーション（生物ろ過）の最良管理実践（Best Management Practices : BMPs）は、都市化された流域で最も頻繁に用いられる雨水管理方法となっている。雨水の表面流出の量、そのピーク時期、水質基準などにかかわらず、これらの最良管理実践は、雨水システム維持の不可欠な構成要素として使用されるもので、多くの場合、単なる雨水拘留に基づいた管理方法に取って代わるものである。雨水を浸透・蒸発させ、かつ、ろ過することを目指したバイオレテンションやバイオフィルタレーションの最良管理実践は、雨水の表面流出量を縮小し、開発と土地利用を変更させることから、敷地に対する負の影響を緩和するフィルタとして作用している。低影響開発（LID）を設計する際の基礎であり、それが敷地を越えて分散され、雨水収水システムとして具体化されたとき、これらの最良管理実践は最も効果的となる。これらの制御措置は直接、水の再涵養や水質、水量、流出のピーク時期の延期などの手段を組み合わせることで、雨水の表面流出問題に取り組むものである。

これらの最良管理実践の非常にコスト効率の良い恩恵を実証する研究があるにもかかわらず、設計問題で認識される問題があり、それが最良管理実践の実施を遅くしている。その使用を阻害する問題のいくつかは、バイオレテンションとバイオフィルタレーションの概念が、多くの分野の知識を統合する新しい種類の最良管理実践であるという事実から生じるものである。性能と地下水の汚染、耐用年数、そして過剰浸透に関する懸念は、バイオレテンションとバイオフィルタレーションの使用を限定してしまう。過去の最良管理実践による設計実践と指導基準は、より小さな雨水表面流出量に対して指南され、性能基準としての水量、最大のピーク率の引下げという点で、それら二つの機能の最大の利点を完全には利用していなかったのである。

こうした問題を解決するために、メリーランド大学、ノースカロライナ州立大学、そしてヴィラノバ大学が、バイオレテンションとバイオフィルタレーション最良管理実践（BMPs）を初めとする低影響開発における雨水管理実践上での産学協同としての研究に基づいた勧告を提供するために、チームを組んだ。次に挙げるのは、バイオレテンションとバイオフィルタレーションの最良管理実践による恩恵を構築し研究するに際して、これらの大学のそれぞれが経験したことである。

### メリーランド大学（University of Maryland）

2つのバイオレテンションシステムが、研究、教育、デモンストレーションプログラムの一環として、メリーランド大学のキャンパスに近年設置された。最初に設置されたのは2003年の春に完成した1組の装置（セル：cell と呼ぶ）である。2番目のものは、2005年の春に設置された構内のある地域全体にわたって拡張された、およそ10個で1セットとなっているセルである。研究チームは、様々な理由に見舞われたが、主として地中と地上の両方にあるユーティリティ設備に関する懸念のために、すべてのセルを設置することは困難だったという経験を積んでいる。地中にユーティリティ設備のない大学キャンパスなどほとんどないのである。

最初の1組のセルは、学生や体育イベントで実際に使用している人が利用する駐車場からの雨水を捕らえるために構築された。

バイオレテンション設備を設置する以前は、雨水の舗装面からの表面流出はシートフローとなり、構内にあるキャンパス・クリーク(大学構内を流れる小さな小川)へと、直接流れこんでいた。セル装置の構築で、およそ0.5エーカーの排水面積からの排水がバイオレテンション設備へとつながることを可能にするために、アスファルトの縁石が駐車場周辺の境界に置かれた。流出は最終的には2つのセルへと分かれて入る。



道路から既存雨水管渠へとつなぐ手前(直前)にバイオレテンション・セル装置をとりつけた改造:

メリーランド大学

1つのセル(装置)を埋めている媒体(土壌)は、プリンスジョージ郡(MD)の標準的な混合土である・・・すなわち、建設用砂50%、表土30%、有機物20%(体積比)からなり、およそ2.5~3フィートの深さである。別のセルは、粗い砂と細かく裁断された新聞の混合物を含む付加的な混合物を1フィートの深さで追加している。この層は、継続的にそれを浸しておく逆暗渠を設けてありそれにより雨水の脱窒を促進するために置かれている。この媒体の混成は、研究所での脱窒研究で効果があると示されたものであった。セルは水分バランスを制御する研究ツールとしてポリプロピレンで内張りされていた。

これらのセルでは、最初の1年半の水文学的機能と水質の研究とモニタリング作業が終えられている。49の雨水事象による評価は、両方のセル装置が、雨水表面流出の最大流量を縮小し、かつ、流出が最大量となるピーク時期を遅らせ、流出量自体も削減することに関して、等しく効果的であることを示した。モニターされた降雨事象の18%は、バイオレテンション装置の媒体(混合土)が雨水流出量全体を捕らえられるほどに降雨が十分に小さく、装置から外への雨水流出は観察されなかった。

それより大規模な降雨事象の時には、セル装置から外部への雨水流出が生じたが、それは本当に低水量率であり、しかも長時間続いた。

水質の向上についても文書にて報告されている。浮遊物質、リン、銅、測鉛、亜鉛、などの濃度がすべて低下した。また、限られたデータであるが、さらに硝酸塩の減少を示したものもある。データの量が限られていることと、装置に流入する硝酸塩の濃度が低いために、付加された砂と新聞紙の層が何らかの影響を与えているかについては識別することができなかった。雨水の表面流出量の減衰は汚染物質質量に対する負荷の減少において重要である。

進行中のプロジェクトは、セルの流れのパターンの開発を評価している。時間の経過と共に、土壌表面と植物の特性は変化し、この小さな池を埋める盛土にも見えるバイオレテンションセルを通して別の流出通路を形作る。この流れのパターンは、セル内の水の滞留時間に影響を及ぼす。汚染物質のセル内での蓄積は、特に重金属を重視してモニタリングされている。汚染物質の蓄積は、主に媒体（混合土）の表面に生じ、汚染物質蓄積の三次元的変化を作り、流れの通路へと集中する。

セル装置は教育にも使われている。多くの視察団が、これらのバイオレテンションセルも視察している。メインランド州カレッジパークで開催された第1回低影響開発会議は、参加者の関心が高いためにこれらの設備への視察を何度も別々に組込んだ。メリーランド大学の工学技術と環境科学の授業は、その多くがセル設備を訪れて調査するものであり、また、通行人に対して雨水管理の重要性とバイオレテンションの性能を解説するために、大きな看板がセルのある通行量の多い歩道近くに設置された。

バイオレテンションセル設置の第二弾では、既存の雨水流入口の周辺が改良された。上述したのと同じ媒体（混合土）が、すべての装置で使用されている。これらは、既存の駐車場の島か、既存の道路とキャンパスを流れる小川の間建設されている。1つのセルは、水質と水文学的機能の両方をモニタリングするためにアクティブに調査中である。一連の調査中のパラメータ（指標）には、窒素、リン、銅、鉛、亜鉛、カドミウム、ヒ素、水銀、クロムなどの有毒金属や懸濁物質が含まれている。多環芳香族炭化水素の調査用のサンプルも取られている。研究からの予備データでは、バイオレテンションセルを通過によって、水文学的機能と水質の両方の改善が示唆されている。

これらのバイオレテンション設備で明らかになる将来的な環境管理問題は、それらがゴミの収集においてとても効率的であるということである。粉碎されるゴミと同様、雨水中に満ちあふれるゴミも、バイオレテンションセルの植物と媒体層の中に効率的に集められる。清潔な設備を維持するには、集まったゴミを比較的頻繁に取り除かなければならない。この可視できる環境上の目障り（ゴミ）が、現地の水域へと入り込むことを防がなければならないのである。

メリーランド大学にこれらのバイオレテンション設備が設置されてから、メンテナンス作業は、ほとんど適用されていない。

セル設備の生態学的変化と発展が続いている。時間と共にそれらは、固有の生態系へと発展するように見える。炭素循環が発展している。植物が消滅すると共に変化が起こり、有機物が循環させられている。そしてまた、新しい植物が生長し……また設備へと自発的に補充がなされる。しかしながら、これがすべてどのように雨水管理問題に影響を与えるかはまだ確定されていない。現在は、メリーランド大学の構内インフラストラクチャーに、より多くのバイオレテンションと他の低影響開発による雨水管理技術を組み込むというイニシアチブ（発議）が追加で進行中である。既存設備で実証された成功が、こうした進歩を容易にするであろうと思われる。

### ノースカロライナ州立大学 (North Carolina State University)

ノースカロライナ州シャーロット市メクレンブルク郡にあるノースカロライナ州立大学は、2004年から、シャーロット市にある12の雨水管理実践に関する研究を共同研究で行っている。シャーロット市は、

66万人を超える推計人口を持つノースカロライナ州で最も大きな都市である。そしてまた、アメリカで最も急成長している大都市圏の中心のひとつである。この成長でシャーロット市は、従来の雨水管理実践と革新的な雨水管理実践の両方を使用する好況を経験することとなった。

ノースカロライナ州立大学で研究された実践の1つは、山の手にあるバイオレテンションセル設備を、州の中でもっとも都市化している場所に置く改装であった。ハル・マーシャル郡政府センターの駐車場から雨水を得るこのバイオレテンションセル設備は、それ以来ハル・マーシャル・バイオレテンション・セル(HMBC)と命名されている。



ノースカロライナ州のシャーロット市の山の手にあるハル・マーシャルバイオレテンションセル

メクレンブルク郡の設計者フランク (Frank Hahne) は、2002年にHMBCを設計したが、その時は、従来のバイオレテンション設計フォーマットに従っている。

すなわち、セルは標準の暗渠形状で深さ4フィートであり、セルの溜池となる部分の深さはおよそ6インチであった。またそれは、25mm (1.0インチ)の水質事象を捕まえることを目指して設計されていた。HMBCの表面積は、229平方メートル(2,480の平方フィート)で、排水面積は0.37ヘクタール(0.92エーカー)であった。セルは築堤の上に設置され、そこは、シャーロット市のライトレール線に隣接している。バイオレテンションセルの底は、線路よりもおよそ20フィート上にあるが、この比較的劇的な標高差は、バイオレテンションセルの水文学的機能に非常に影響を与えている。

同じノースカロライナ州にあるグリーンズボロとチャペルヒルで実施されたと伝えられた従来の研究で、敷地で使用される盛土の媒体は主に有機落葉による改良材と混じり合った石工砂であった。盛土に使われた媒体は、非常に低いリン指数(P index)であった。この指数とは土壤に結合したリンの測定である。

これは、セルが雨水の表面流出水から流入するリンを捕らえることができると予測されていたことを意味する。栽植密度は比較的高く、ヘクタール当たりおよそ1,100の幹(エーカー当たり2,800の幹)計算であった。また、植えられた植物はアヤメ(アヤメ属)、ムクゲ(ハイビスカス属)、アメリカリョウブ(*Clethra alnifolia*)、コバノズイナ(*Itea virginica*)、ワイルドオーツ(宿根コバンソウ:*Chasmanthium latifolium*)などである。

これらの草木はすべて、かつてノースカロライナ州の他のバイオレテンションセル設備中で使って上手くいった種類を選んで使われている。



手前にあるのはHMBCの取水庭

バイオレテンションセル設備のもうひとつ固有の特徴は、セルの中へと改装させられたフォアベイ（取水庭）である（上の写真）。このセル設備は、モニターされる一角に構築されたため、すべての流入は単一のコンクリートシュート（通路）を通じて入ってくる。

その結果として集中してしまった流れは、初期に入口のところでセルの浸食を引き起こした。その後、取水庭がエネルギーを消費し、固体の初期沈降を提供するために設置された（写真）。取水庭（セルの鉢状底の残りから大抵は4フィートに対する）の底のわずか2フィート下で暗渠に短絡することを防ぐために、不浸透性のシートが取水庭の下に敷かれた。

バイオレテンションセル設備は多くの汚染物質について、2004年2月から2006年3月までモニタリングをされている。

その対象となった汚染物質とはすなわち、ケルダール窒素<sup>(\*)</sup>、アンモニア性窒素、硝酸塩-亜硝酸態窒素、全磷(TP)、浮遊物質(TSS)、生物学的酸素要求量、銅、亜鉛、鉄、測鉛、糞便性大腸菌、大腸菌(大腸菌)などである。

頭から10番目までの汚染物質は23の降雨事象で見られ、後の2つはグラブサンプルで、糞便性大腸菌と大腸菌に対する14の降雨事象から19回集められた。収水は、平均すると月当たりおよそ1回で、季節的に分散されている。モニタリングされた降雨事象は、6.4mm(0.25インチ)から80.8mm(3.08インチ)まで幅があり、27.4mm(1.08インチ)と、24.1mm(0.95インチ)が、それぞれ平均値と中央値であった。

この2年の研究から生じる結果は、大部分では非常に有望なものである。

大部分の汚染物質の効率比は0.30~0.70の範囲であった。特に、TSS、全窒素(TN)とTPの効率比はそれぞれ、0.60、0.32、0.32であった。但し、効率比は流入および流出した汚染物質負荷の比較はしない。HMBCの固有的な位置のために、流出量は40%から50%ほど、流入量よりも少なくなった。

これは、約50%よりも高い割合を示すほとんどの汚染物質(TNとTPを含む)に対して、汚染物質負荷の減少へと変換される。表土に結合したリンはほとんど含まれていなかったため、埋める媒体(混合土)が選択されたときに、高いTP除去(または媒体におけるリンの蓄積)が予期された。

汚染物質の中で濃縮し積載が増加したのは、ただ鉄のみであった。これは、周囲の土壌の鉄含有量が高く、鉄分がこれらの土壌から浸出したという仮定に起因するものであった。その現象は、ノースカロライナ州ピエモンテ市内の様々な場所で観察されている。

おそらく、HMBC のモニタリングによる最も有望な結果は、病原菌とそれに関連したことである。糞便性大腸菌と大腸菌の濃度は、両方とも流入した時の濃度よりも、ほぼ 70%以上も低かった。流入したときの糞便性大腸菌濃度を 100ml 当たり 200 のコロニー形成単位という主な国家的基準と比較すると、19 のうち 16 のモニタリング結果では、100ml 制限で 200 コロニー形成単位よりも上であった。対照的に、19 の流出する場所での濃度のうち、5 だけがこの同じ制限よりも上であった。病原菌が死ぬ主要な 2 つの原因は、乾燥と日光への接触であるので、この発見は合理的である。HMBC のセル設備のように、バイオレテンションセルは、確かに降雨と降雨の間に乾燥しきる、つまり、病原菌が死滅する事態になることが予期される。しかし、セルが比較的十分に植物で覆われていると、よりオープンなバイオレテンションセルと比べて、細菌が紫外線照射に晒される危険は減ってしまう。

ハル・マーシャル郡政府センターのバイオレテンションセル設備は、超過密都市におけるバイオレテンション設備の近代化を学ぶ上で適した例である。それは、低リン盛土媒体と取水庭などのように、新しいデザイン技術を幾つか利用している。セル設備は、病原菌の指標種を含む汚染物質除去を立派に行なっていると見え、HMBC は、超都市環境におけるバイオレテンションの使用を目的としたモデルであると言える。

これ以上の詳細情報と、これと他の 11 の雨水管理実践の詳細報告を含むシャーロットでモニターされたものについては、

<http://www.bae.ncsu.edu/stormwater> を参照。

### ヴィラノヴァ大学 (Villanova University)

ヴィラノヴァ・バイオフィルタ安全地帯は、夏の季間に雨水装置の近代化として 2001 年から敷地からの雨水量を縮小する最良管理実践の研究を可能にしているデモンストレーション敷地である。0.53 ヘクタール(50,000 平方フィート)の流域からの初期雨水の表面流出 2.5cm を捕らえるように設計されていて、敷地はヴィラノヴァ雨水最良管理実践(BMPs)の研究とデモンストレーション公園を兼ねている。敷地の継続的なモニタリングが進行中であり、また、その最良管理実践は USEPA の 319 の面源汚染源をモニタリングする国家プログラムの一部となっている。敷地には、表層水と地下水面帯の両方からの水質と水量の両方をモニタリングするための機器が備えられており、過去 6 年にわたり、敷地は年間雨量のおよそ 85% を捕え、また、ほぼ維持管理をしていない敷地へ入り込んだ表面流出雨水の 70% を捕らえたと概算されている。

最良管理実践はまた、2001 年に、ヴィラノヴァ大学の西部キャンパスにある寮の建物エリアで、学生の駐車場の一部である現存の交通安全地帯に組み込まれた。

その敷地は、6 フィートの深さに掘削されたくぼ地と砂混じりの混合土で埋戻しされることで、改装された。浸透を目的とした水を保持する鉢形のくぼ地が創られた。

敷地にはニュージャージーの海岸に向く、その固有の耐塩性の草と灌木が植えられた。

これと他のバイオレテンション設備とがどう違うのかと言えば、この敷地は、雨水を滞留させずに土層を通過した後の雨水は浸透するように設計されているということである。

水が地面へと進出するのを防ぐ暗渠もジオテキスタイルシート(合成繊維)もない。

敷地のキャリブレーション済みの検証された水文モデルが、数年の運用でモニタリングされた雨量と深度データに基づいて開発された。

記録された情報を使用するこのモデルの適用は、個人と長期的な最良管理実践性能の両方のより深い把握力を考慮に入れるものである。

例えば 2005 年には、77 の記録された降雨事象のうち 6 つのみが、著しいオーバーフローを記録している。そしてそれらの降雨記録からは、オーバーフローを引き起こすのにほぼ 2 インチの雨量が必要だったことが分かった。最良管理実践のとおり鉢状になっている設備の地表面の容積量が、集水域の不浸透面に対しておよそ 0.6 インチであることも、オーバーフローを引き起こした原因を考える際に、特に重要である。

ここで極端な降雨中の浸透 BMPs の実効性が問題となった。

2005 年 10 月、敷地は一日に 6 インチの極端にピークの遅い降雨を経験した。

これは、ピークの遅い豪雨(これを設計してから今までで一番遅い事態)であると共に、浸透が豪雨の間ずっと至る所で生じたことが分かったのは驚くべきことである。他の記録された降雨と比較しても、降雨が減った場所での浸透への影響はなかった。最も激しい豪雨の終わりごろに、ピークフローの一部は削減が実現された。

この敷地の水質様相は研究中であり、USEPA の 319 の面源汚染市民監視プログラム

([www.epa.gov/OWOW/NPS/cwact.html](http://www.epa.gov/OWOW/NPS/cwact.html))から手に入れることができる。

水質の問題は、表層水と地下水の両方の効率性の問題を含み、最初の流出水を観察しているかどうかとも考慮要素である。

表層水の展望からいえば、除去は、ほぼ量と緊密に結びついているようである。

オーバーフロー事象については、バイオフィルタレーション BMPs の中の草木が理由で、設備内で栄養分濃度がより高くなることは興味をそそる。

しかしながら、水文学的機能と水質とを連結して考えると、48 インチと記録された雨量が降り、そのうちのわずか 5.5 インチだけが 2005 年に敷地を出たと考えられる場合、除去率は著しく高いことが分かる。

2006 年のヒーサムらの研究によれば、豪雨が降り始めたころは、雨はバイオフィルタレーション設備に急速に浸透する。それは、浸透率を一定に言う。豪雨初期の急速な浸透は、設備の性能を大幅に向上させる。

次に、浸透率のサイクル式の季節的変動がある。もっとも高いのは初秋のころである。

暖季の浸透率の最大量は、冬季のほぼ 2 倍である。

他の敷地とバイオフィルタレーション BMPs からの結果とを比較すると、粘性の温度の影響が、はるかにこの効果を説明するかもしれないことを示唆している。植物の生長が通路の再開や維持管理において役割があることは明らかである。

最後に、6 年間の最小の維持管理の後、沈殿物が設備に入り込んでおり、表面層が変化していることが明らかになる一方、統計的な性能の低下は見つかっていない。

現在まで、このバイオフィルタレーションの水文学的機能と汚染物質除去性能は、複数年の時期を経て例外的であると立証されている。

長期的な連続モニタリングの価値は、訪問客が絶え間なく敷地を訪れるという教育価値と同様に実証されている。

バイオフィルタ安全地帯を発展させて敷地をモニターするために資金を提供することは、319 の面源実施認可(資金はEPA で提供された)セクション通した環境保護のペンシルバニア部門 (PaDEP) によって提供されており、将来の研究資金源はEPA の水質協同合意プログラムとヴィラノヴァ都市雨水パートナーシップ(VUSP)などである。

## 概要

雨水管理実践が雨水流出の量と水質を解決しようとするにつれて、新しい設計実践と革新的な技術が探求されている。これらバイオレテンション設備とバイオフィルタレーションの設備は、簡単に見えるものの、それらの機能性、性能、設計、維持管理、耐用年数、集水域計画の一部としてどのようにしたらそれを一番よく利用できるかなどの多くの問題が残されている。水質と水量の両方の観点から、これらと他の設備をモデル化することについて、非常に高い関心が集まっている。

現在の指針は、それら設備の水文学的性能を過小評価しており、それゆえに、このようにその応用範囲を狭めている。

研究者の目的は、雨水管理実践としてのバイオレテンションの水文学的機能と水質性能の基本的能力を調査し、提供することにある。一旦これが達成されれば、それはより大規模な流域全体にわたって、予期された性能に対して個々に累積的に関連する設計基準を肯定することになるのである。

そのための防壁を取り除き、また、この魅力的でコスト効率が良く、維持可能な技術の使用を助長するために、こうした作業には、雨水コミュニティの力が是非とも必要なのである。