

● 制作

雨と畦を編む —浸透不適地における水平浸透型レインガーデンの提案—

A study on horizontal infiltration-type rain gardens in infiltration-unfit areas

吉池 柚乃 園芸学研究所 ランドスケープ学コース 環境造園計画学領域 (主指導教員: 霜田 亮祐)
YOSHIKE Yuzuno

1. 研究の背景と目的

近年、気候変動の影響で集中豪雨が頻発しており、地表面の多くがコンクリートやアスファルトに覆われた都市では、下水処理能力を上回った雨水が地表に溢れる「内水氾濫」が大きな問題となっている。そこで、人工的な舗装面の不透透域に対して、降雨時に雨水を一時貯留・浸透する浸透域として機能する緑地が、どれほど都市型水害対策に寄与するのかが関心を集めている。稲作とともに栄えた我が国では、稲作に適した河口付近の平野部に大都市が形成されるという特徴があり、これは首都・東京も例外ではない。都市機能が集中する東京東部、いわゆる下町は元低湿地であり、その地形的特性から内水氾濫の脅威に曝されている。内水氾濫を防ぐためには、オンサイトでの貯留・浸透を最大化し、流域全体でネットワークを形成することが基本となるが、これまでの流域対策は、上中流域での対策の利益を下流域が享受することも少なくなかった。地下水位が高く浸透に適さないとされてきた下流域で、雨水浸透をどのように考えていこうかが新たな課題となっている。また、河川や下水道への「流出抑制」のために、雨水貯留槽や雨水浸透ます、浸透トレンチなどの雨水貯留浸透施設の導入が進められているが、NbS の概念が普及する中で、これらの人工的な施設を、自然環境の機能を活用したグリーンインフラとすることで、都市生態系の育成や都市環境の向上にも寄与することが期待されている。

都市緑地の浸透能に関する既往研究としては、土地利用別の浸透能を測定した研究¹⁾²⁾があり、自然的土地利用に比べて都市的土地利用の浸透能が低いこと、特に締め固められた造成地の浸透能が低いこと、が明らかにされたが、いずれも台地や丘陵地を対象としている。また、土地利用だけでなく地形・土質と浸透能との対応関係を分析した研究³⁾は、沖積土低地の浸透能がローム台地や丘陵地に比べて低いことを明らかにしたが、都市的土地利用のみを対象としており、自然的土地利用については不明である。以上から、浸透能が低いとされる東京下町のような低地の盛土造成地であっても、自然的土地利用、つまり草木の生えた緑地には浸透能を期待できるのではないかとこの仮説のもと、本研究を行う。

2. 研究の対象地と方法

対象地として、東京下町から墨田区を選定した。墨田区は、隅田川と荒川に挟まれた江東デルタ地帯に位置し、海拔ゼロメートル地帯が広がる水害の危険性が高い地域で、内水氾濫への対策が喫緊の課題となっている。これまでは、地下水位が高いことから、「浸透不適地」として雨水浸透施設の設置を諦めざるを得ず、雨水貯留槽の設置など雨水の一時貯留をメインにした対策が講じられてきたが、緑地の浸透能を定量的に評価することで、その雨水浸透機能を活かした新たな対策を考案できる可能性がある。

そこで、墨田区の緑地に実際にはどれほどの流出抑制ポテンシャルがあるのかを、土壌硬度と浸透能の実測により明らかにする。実測は、墨田区浸透適地マップにおいて浸透不適地に位置する、千葉大学墨田サテライトキャンパスの屋外緑地空間「キャンパスコモン」と、墨田区立植物園「緑と花の学習園」で行なった。土地被覆の差異が与える影響も明らかにするために、土地被覆の異なる7地点、つまり「キャンパスコモン」から、芝生地(A)、雑草地(B)、植栽地(C)、裸地(D,E)を、「緑と花の学習園」から、樹林地(F)、芝生地(G)を選定し、測定地点とした。



図1 キャンパスコモン 測定地点位置図

出典: 墨田区都市整備部都市整備課 あずま百樹園/キャンパスコモン整備計画図



図2 緑と花の学習園 測定地点位置図

土壌硬度は『長谷川式土壌貫入計』を用いた土壌貫入試験により測定し、縦軸に深さ(cm)を、横軸に1打撃による貫入量「軟らか度」(cm/drop)をとったペネトロダイヤグラフを作成する。

浸透能は『長谷川式簡易現場透水試験器』を用いた透水試験により測定し、縦軸に水深(cm)を、横軸に経過時間(min)をとった折れ線グラフで水の減り方を表現する。また、水が無くなるまでの時間をもとに最終減水能を算定する。

3. 実測結果と考察

3-1. 土壌硬度の測定結果

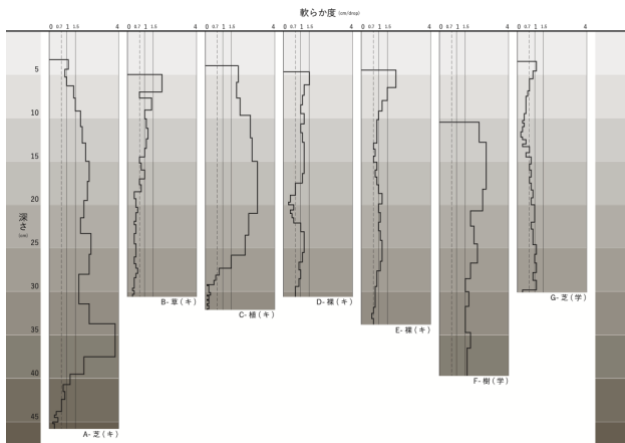


図3 土壌貫入試験結果

A-芝(キ)は、全体的に芝の生育を意図した軟らかい土壌が使用されている。40cm以下は軟らか度0.7cm/dropを下回る程硬いことから、地表から約40cm分が盛土だと推測される。B-草(キ)は、深さ15cm以下が植物の生育に適さない硬い土壌であるのに対し、地表近くが1.5cm/dropを上回る程軟らかく、雑草の根系の発達によって土壌が軟らかくなった可能性がある。C-植(キ)は、深さ25cm以上で植物の生育を意図した軟らかい土壌が使用されている。30cm以下に粘土層らしき硬い土壌が現れることから、地表から約30cm盛土されたと推測される。D-裸(キ)とE-裸(キ)は、全体的に軟らか度が1cm/drop前後と硬めの土壌である。また、裸地ではあるものの、芝の生育が意図されている。F-樹(学)は、全域で樹木の生育を意図した軟らかい土壌が使用されている。

地表に近いほどリターや腐葉土が多いため軟らかいと考えられる。G-芝(学)は、同じ芝生地であるA-芝(キ)と比べてかなり硬く、全域で軟らか度1cm/drop以下である。深さ10cm前後が硬く、排水層らしき砂利の層にあたる。

3-2. 浸透能の測定結果

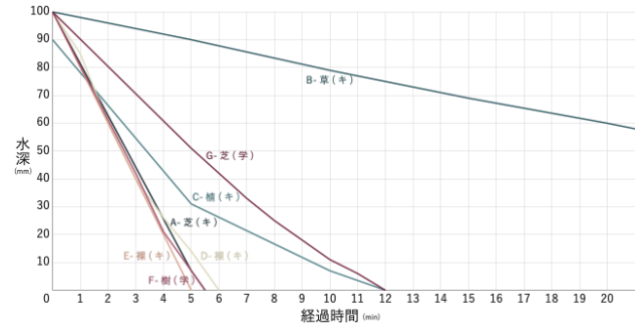


図4 透水試験結果

水の減り方は大きく3パターンに分かれた。1つ目にはA-芝(キ)、D-裸(キ)、E-裸(キ)、F-樹(学)が該当し、最終減水能は1000~1200mm/hrだった。A-芝(キ)、D-裸(キ)、E-裸(キ)はいずれも芝の生育が意図された土壌であり、一般的に浸透能が高いとされる樹林地のF-樹(学)と同等の浸透能を有していた。2つ目にはC-植(キ)、G-芝(学)が該当し、最終減水能は500mm/hrだった。同じ芝生地でも、G-芝(学)はA-芝(キ)よりも浸透能が低く、これは土質や土壌硬度が異なるためだと考えられる。3つ目はB-草(キ)で、最終減水能は120mm/hrだった。これは現場発生土が埋め戻されたためだと考えられるが、A-芝(キ)からわずか2m程しか離れていないにもかかわらず、浸透能が10倍近く異なることから、浸透能には深層よりも表層の土壌が影響すると推測される。

3-3. 流出抑制ポテンシャルの評価

地表から約40cm分が芝の生育が意図された軟らかい土壌の盛土だとされるA-芝(キ)の、深さ30cm地点の浸透能は極めて高く、一方、硬い粘土層の上にF-樹(学)よりも軟らかい土壌が地表から約30cm盛土されているとされるC-植(キ)の、深さ30cm地点の浸透能はA-芝(キ)よりも低い。これらより、浸透能には測定地点下部の土壌が影響し、10cm程度の土壌の有無によって浸透能がかなり変わることがわかる。また、D-裸(キ)とE-裸(キ)は、どちらも土壌は硬いものの、A-芝(キ)と同様に芝の生育が意図された土壌のためか、極めて高い浸透能を有しており、土壌の軟らかさよりも植物の生育が意図された土壌であるかどうかが重要であると考えられる。全地点の中で最も浸透能が低いB-草(キ)は、現場発生土が埋め戻されたと考えられ、唯一植物の生育が意図されていない。

以上の考察から、下層が浸透を期待できない地盤であっても、上層数十cmの土壌が植物の生育が意図された土壌であれば、雨水浸透を期待できることが示唆された。

4. 敷地概要と歴史的農業環境への着眼

実測対象地と同様に墨田区内に位置する UR 立花一丁目団地（以下、立花団地）を敷地として、設計提案を行う。南は北十間川に面し、南北軸配置された住棟に囲まれた中央の空間に遊び場と緑地が配置されている。盛土造成によって、宅盤のレベルは標高 0m と周辺地域に比べて高く、団地内の建物屋上や舗装面に降った雨水は、雨樋と排水管を通して敷地外へとすぐに排水されてしまっている現状だ。土地利用の変遷を見ると、近世までは水田が広がっており、近代には工場が建ち、その後急速に人口が増加し住宅が不足したことを背景に、工場跡地に団地が建設された。しかし、現在の立花団地はこうした土地の歴史を感じられないばかりか、本来の湿地の植生も全く残っておらず、「この街らしさ」を感じられない、どこの団地とも変わらない普遍的な風景が広がっているように感じられる。



図5 吾婦社夜雨／広重

この辺りが農村だった当時の風景を描いた『吾婦社夜雨』を見ると、曇り空にはザーザーと雨が降り、雨水を貯える田んぼの水面だけが青く着色されているのが印象的だ。土手の法面を覆う植物や、生い茂る鎮守の森も生き生きと描かれており、雨水は田んぼの動植物を育む「恵」であり、田んぼに大切に貯えられていたことが伝わってくる。しかし、現在では雨水は生活排水と一緒に要らないものとして下水道に流され、私たちの目に留まることすらない。そして時に「脅威」として捉えられる存在になってしまった。そこで、人工的に水を制御しながらも自然環境との調和が保たれていた歴史的農業環境が、どのように自然の浸透作用を引き出していたのかを探り、雨水浸透機能を果たすグリーンインフラとして、現代の都市環境に応用できるか検討する。

5. 歴史的農業環境と現代の都市環境の構造分析

まず、近世と現代の環境構造を平面的に分析する。近世は、一面に広がる田んぼに、微高地になっている集落が島のように点在し、陸域と水域が混在している。そこに地理的文脈に基づいた有機的な線形の畦道と水路が網目状に張り巡らされており、河川や運河の堤は土手道になっている。一方現代は、全域が市街化して田んぼが陸域に変わり、畦道の名残で有機的な線形の道路が多く見られるが、立花団地は東西・南北方向のグリッドに沿っており、周辺地域と性格を異にしている。

次に、断面構造を分析する。歴史的農業環境は、葦が生い茂り人間の居住には適さなかった低湿地に、農業用水路や運河の掘削・浚渫によって発生した土を盛ることで、田んぼの中に人間のための陸域を生み出している。水域には水生の、陸域には人間を含めた陸生の動植物が生息し、高低差を「前畦」という法面がつかないでおり、人間が立ち入ることができない前畦には、野生的な環境が生まれていたと推測される。一方都市環境は、土地の高低差を無くすように一帯が盛土造成され平坦な断面になり、畦道は道路に転用されたものの、高低差とそれをつなぐ前畦は失われた。立花団地の植栽基盤も盛土造成によってつくられ、低湿地だった頃には生育し得ない植生が成立している。

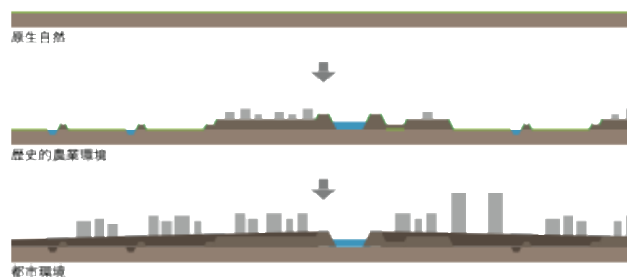


図6 断面構造分析

これらから、墨田区の都市環境が低湿地に度重なる盛土を行うことで形成されてきたことがうかがえ、「土を盛る」という行為がこの街の営みとも捉えられる。そして、近世においては、周囲の田んぼに比べて微高地になっている畦道が、有機的な線形で網目状に張り巡らされ、陸域と水域が混在する凸凹の都市断面を生んでおり、歴史的農業環境が「畦道」によって特徴づけられていると言える。

6. 都市環境への畦畔浸透の仕組みの応用可能性

田んぼの水循環を見ると、鉛直方向の地盤浸透以外にもいくつかの経路が存在し、畦畔部分においては水平方向に浸透が行われていることがわかる。この「畦畔浸透」の存在を明らかにした研究⁴⁾によると、各水田に高低差がある場合には畦畔部分からの浸透が行われており、その浸透量は鉛直浸透量の数倍以上にも達する。そして、畦畔浸透量の一部は畦畔からの蒸発・蒸散により消費され、一部は下段の水田に流入している。

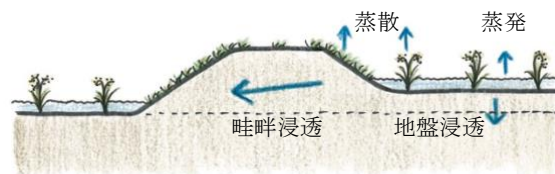


図7 田んぼの水循環

従来のレインガーデンは、鉛直方向に雨水を浸透させるため地下水位が高い場所への設置は適さないとされてきたが、植物の生育が意図された土壌には雨水浸透を期待できるとい

う前章で得られた知見を生かし、この畦畔浸透の仕組みを応用することで、浸透不適地において雨水を浸透・一時貯留することができる、水平浸透型のレインガーデンが可能なのではないだろうか。

畦道を現代の都市環境に応用するにあたって、その断面形状を再考する。田んぼとしての機能を転換し、雨水を浸透・一時貯留する機能を付加する上で、畦道を構成する土壌の量を増やすことが望まれる。そこで、畦道の法面を広げ、おおらかな地形とすることで、単なる道を超えた、人間や動植物を受け止める空間として再解釈する。

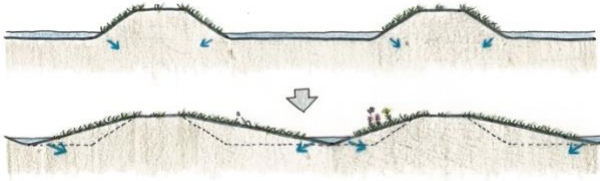


図8 畦道の空間としての再解釈

7. 水平浸透型レインガーデンの設計提案

周辺地域と異なる東西・南北方向のグリッドを、有機的な線形に変えることで、かつての畦道に基づいた周囲の町割りとの調和を試みた。畦道の線形は、周辺施設や住棟からの人の流れを想定し、周辺街路を引き込んだ動線計画に基づいている。畦道には3段階のヒエラルキーを設定し、最も強いS字の中央軸は敷地を貫く北十間川への軸線となっている。



図9 平面図

従来のレインガーデンのように窪ませるのではなく、この街の営みの連続として、土を盛ることで雨水の流路をつくることを目指した。畦道に囲まれた窪みには雨が降ると雨水が溜まり、畦畔に浸透する。そして雨水は、高い水溜りから低い水溜りへと水平方向に移動しながら、土壌からの蒸発や、畦畔植物からの蒸散も合わせて、ゆっくりと時間をかけて処

理される。既存の微地形を元に各水溜りに少しずつ高低差をつけることで、畦畔浸透を促進している。常に水が溜まっているところ、時々水が溜まるところ、めったに水が溜まらないところ、と多様な環境が生まれ、環境に応じて異なる動植物が生息すると想定される。

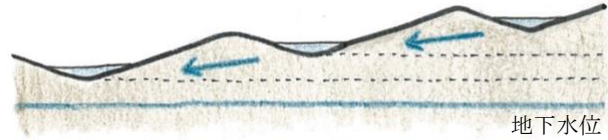


図10 水平浸透型レインガーデンの仕組み

8. グリーンインフラとしての社会的・生態的意義

これまで雨水浸透施設の設置を諦めざるを得なかった敷地において、地下水位の高さに妨げられずに雨水浸透を期待できることが革新的であり、内水氾濫対策の一助となるだろう。また、失われていた水域が再生することで、都市生態系が豊かになることや、ヒートアイランド現象の緩和など、密集市街地の環境が向上することも期待できる。レインガーデンを施工する上では、北十間川の浚渫での発生土砂の再利用を想定しており、北十間川の水質の改善や生態系の回復も同時に期待できる。

東京下町には、かつては田んぼだった土地が近代に工業利用され、その後未利用の工場跡地に面開発市街地住宅が建設された事例が多く存在し、そのほとんどが運河沿いの盛土造成地に位置する。立花団地に限らず、他団地でも同様に屋外緑地空間のリデザインを行うことで、各団地がパッチに、運河がコリドーとなって、都市スケールのエコロジカルネットワークを形成し、都市の生物多様性を高められるだろう。

そして、土地の歴史や「この街らしさ」を感じられない普遍的な団地の風景に、かつての農村のコンテクストを結びつけることで、周辺地域との調和を図り、この街に暮らす人々が愛着を感じられる風景を目指した。生活排水と一緒に要らないものとして下水道に流されていた雨水が、レインガーデンの動植物を育んだり、暮らしの中で利用されたり、と団地内を循環する風景が生まれ、かつてのように雨の恵みを実感することができるだろう。

引用文献

- 1) 安藤義久・管明芳・岡本哲夫・浅羽晴夫(1982)：関東ローム丘陵・台地における土地利用別の浸透能：水利科学 26(5), 1-23
 - 2) 守田優(2022)：都市緑地の雨水浸透機能と都市浸水氾濫軽減の役割について：ランドスケープ研究 86(1), 34-37
 - 3) 安藤義久(1991)：都市域の浸透能と地形・土質・土地利用との対応関係：水工学論文集 35, 123-128
 - 4) 富士岡義一(1957)：畦畔浸透について (I)：農業土木研究 25(1), 1-5
- (主査：木下 剛, 副主査：霜田 亮祐, 竹内 智子)