ジェネレーティブデザインによる河道断面設計に向けた試行的検討

土木研究所　正会員　○河野　誉仁，林田　寿文
山梨大学大学院　正会員　大槻　順朗
公益財団法人リバーフロント研究所　正会員　中村　圭吾

1．はじめに

多自然川づくりにおいては，治水や自然環境，景観，文化等の様々な機能を発揮することが求められている．このような川づくりを実現するためには，計画・設計のプロセスにおいて，様々なアイディアを提案する柔軟性と多くの処理を高速で行う効率性が必要である．ジェネレーティブデザイン（Generative Design，以下 GD）は，人間とコンピュータが共同で行うデザイン手法である．GD では，初めにコンピュータが大量のデザイン案を生成し，評価値を算出する．その後，人間が評価値をもとに最適なデザインを選定する．GD の導入によって，様々なアイディアを満遍なく検討でき，大幅な効率化を図ることが可能であり，構造物や機械部品等の設計への適用例がある[1]．本研究では，GD を河道断面設計に適用した半自動設計システムを開発し，その有用性と課題を検討した．

2．方法

2.1　枠組みとプロセス

GD の適用には，デザインの対象の設定，デザインの形状を表すパラメータの設定，初期条件や境界条件の設定，入力から処理，出力までのアルゴリズムの作成等を行う必要がある．その後，システムの妥当性や出力されたデザインの特性について検討する．

2.2　開発環境

本システムの開発環境として，Autodesk 社の Revit 2024 に含まれる機能である Generative Design in Revit を使用した．この機能では，Dynamo と呼ばれるビジュアルプログラミングツールで開発された入力から処理，出力に至るまでのプログラムを繰り返し実行することができる．デザインの形状を表すパラメータを一定のアルゴリズムで変化させることで，様々なデザインを生成する．このアルゴリズムには，ランダムに動かすものや規則的に動かすもの，遺伝的アルゴリズムによって調整するもの等，複数の手法が使用可能である．

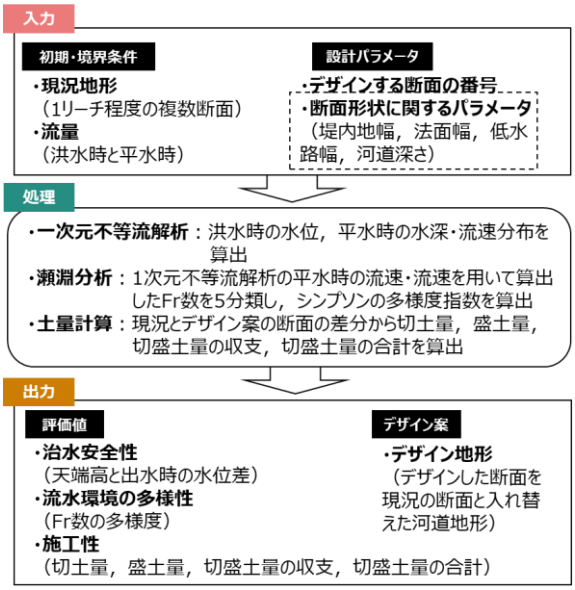

図-1 河道の半自動設計システムの概要

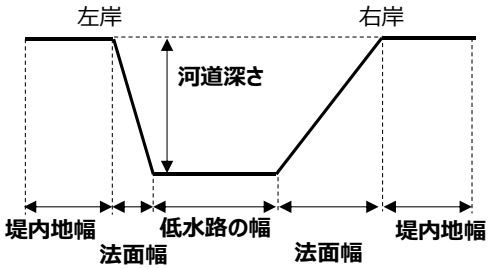

図-2 デザインする断面形状とパラメータ

2.3　半自動河道断面設計システムの概要

図-1 に半自動河道断面設計システムの概要を示す．本システムは，入力，処理，出力の 3 つで構成される．

入力では，初期値として検討する区間の現況断面地形（1 リーチ程度の区間の複数断面），デザインする断面番号と断面形状のパラメータ（図-2），処理のプロセスで必要となる境界条件や粗度が読み込まれる．GD では，断面形状のパラメータを，一定の生成アルゴリズムで変化させ，様々な形状の台形断面を生成する．

処理では，生成された地形に対する評価値を計算するプログラムを実行する．本研究では，治水，環境，施工性に関する評価値を計算する．具体的には，入力地形に対して 1 次元不等流計算を実行し，治水の評価指標

キーワード：ジェネレーティブデザイン，河道設計，多自然川づくり，定量評価
連絡先：〒501-6021　岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地　（国研）土木研究所　自然共生研究センター　TEL：0586-89-6036

として「天端高と出水時の水位の差」および環境の評価指標として「フルード数の多様度」を算出する．施工性の指標に関しては，地形の初期値からの差分から「切盛土量の合計」を求める．

出力では，計算された評価値をグラフに出力し可視化する．また，現況地形のうち，対象の 1 断面をデザインされた断面に置換えたデザイン地形を出力する．

これらの入力→処理→出力のプロセスを経て評価値を算出後，GD のアルゴリズムで再度地形を更新し，プロセスを実行することで多数のデザイン案を生成する．

2.4　実河川への適用

構築したシステムを土岐川水系の小里川（岐阜県恵那市）に適用した．対象地点は土岐川合流部から 17.5km の場所で，下流 9.3 ㎞に小里川ダムを有する．河床勾配 1/250 でセグメント 1 に該当する．河道幅は 20m で，流路の蛇行に伴う砂州や直線部では複数に分かれる流路，堆積土砂上に植生，水際の植生カバーが見られる．

入力条件として，洪水時は 50.0m^3/s，平常時は 1.0 m^3/s の流量を与え，マニングの粗度係数は 0.03 m$^{-1/3}$/s とした．断面のデザイン生成は入力した地形（45 断面）のうち 1 断面を抽出して行った．断面形状に関するパラメータは，堤内地幅は 0～10，法面幅と低水路幅は 1～10 で，ステップ間隔 1 で変化させ，これらの値を比として，入力した地形の幅に乗じることで，各幅の値を算出した．また，河道深さは 1～7m で，ステップ間隔 0.1 で変化させた．断面形状の生成には，上記の制約の中で，ランダムにパラメータを変化させるアルゴリズムを用いた．生成するデザイン案の数は 100 とした．

3．結果と考察

図-3に生成された断面形状のデザインに対する瀬淵の多様度と洪水時の水位と天端の差，切盛土量を示す．100案の生成にかかった時間は10秒程度であり短時間で多量のデザイン案を生成できた．全体的に洪水時の水位と天端高の差と瀬淵の多様度は，トレードオフの関係になっていることが分かる．

図-4に代表的な断面形状（図-3のA～D）と現状の断面形状の比較を示す．治水の評価値の高いAの断面形状は，深く掘削した形状となっている．このような断面形状は従来の治水を主とする河川整備において多く見られる形状である．

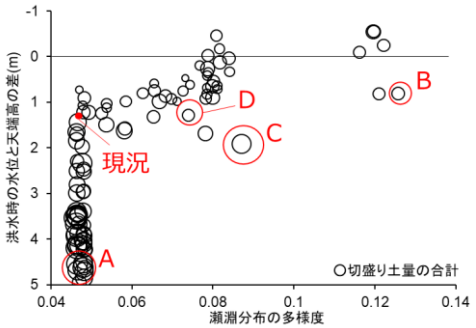

図-3 生成されたデザインに対する瀬淵の多様度と洪水時の水位と天端の差，及び切盛土量の合計

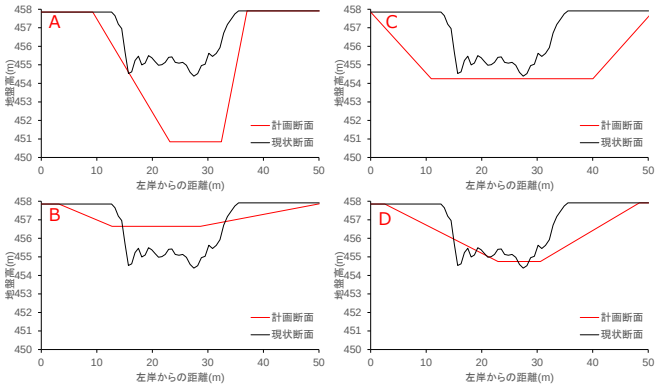

図-4 代表的な断面形状（図-3）と現況断面形状の比較

一方，環境面の評価値の高いBの断面形状は広く浅い形状をしており，法面勾配も緩くなっている．法面勾配が緩くなったことや，河床が上がることで，上下流の流況にも影響し，水深や流速のバリエーションが増えたことで，環境の評価値が高くなっていると考えられる．

治水と環境双方の評価値が高いCの断面形状は両岸に広く拡幅し，低水路も広い形状となっている．Cの断面よりも治水，環境の評価値は下がるが，切盛土量の小さいDの断面形状では，法面勾配を緩くした拡幅の形状となっている．河道の拡幅は河積の確保と共に，みお筋の蛇行を許容することで多様な流水環境が創出され，堆積した土砂に植生が繁茂する等による環境面の効果が期待できる工法として，多自然川づくりの技術書で推奨されている．

以上のように，生成された断面形状と評価値について，これまでの知見と一致することが確認された．今後，このシステムを発展させることで，河道計画・設計の大幅な高度化と効率化を実現できる可能性がある．

参考文献

1）Autodesk：ジェネレーティブデザイン，Autodesk HP，https://www.autodesk.co.jp/solutions/generative-design.（閲覧日：2023.7.21）