

日本古来の水環境を例とした多自然型水路の設計法の考察*

Investigation on Design Method of Natural-Type Channel used by Traditional Japanese Water Environment Technology*

石野和男**・関 文夫***・田辺 顕****

By Kazuo ISHINO**, Fumio SEKI***, Akira TANABE****

1. はじめに

土木工学の使命とは、環境と共生しながら人間の生存のために必要となる社会資本を建設維持することと理解している。江戸時代までのわが国の土木事業は、中国等からの限られた技術は取り入れたが、鎖国のためヨーロッパのルネッサンス、産業革命等の影響をほとんど受けない独自に近い環境と共生した文化を形成していた。(小堀遠州がフランス庭園の生垣の技術を日本庭園に取り入れたらしいとの報告はあるが。)明治時代になると、欧米の大国の発展に乗り遅れまいと急激に欧米の土木技術を導入して産業重視の土木構造物を、また、第2次世界大戦後は、アメリカの機械力を導入して大規模な土木構造物を新設し発展してきた。ここで、河川工学を例に取ってみると、明治以降、治水重視の中で築造されてきたコンクリート構造物の見直し、すなわち、多自然型河川事業が最近展開されつつある。さらに、住宅地の開発に伴い築造されてきた、または今後築造される水路にも多自然型水路が要求されつつある。

一方、環境との共生を含め多様な観点からの総合力を駆使した江戸時代以前の河川事業を、現代の知識をもって研究評価した論文はわずかである。筆者は、この研究の必要性を感じ、河川事業の評価の前段階として規模も適当で、江戸時代以前の伝統(匠)が引き継がれた日本庭園を例にとりその中にある日本古来の水環境の評価を始めている。前報(第50回年次学術講演会¹⁾、第2回「河道の水理と河川環境」シンポジウム²⁾、土木計画学研究・講演集NO18³⁾、⁴⁾、水工学論文集第40巻⁵⁾)では、全体研究方針、研究方法と横浜三溪園の

*キーワード: 景観・公園・緑地、観光・余暇、空間設計

**正会員 工博 大成建設株式会社 技術研究所 研究推進室
(〒245 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1, TEL 045-814-7221, FAX 045-814-7250)

***正会員 工修 大成建設株式会社 土木本部 計画技術部
景観デザイン室 (〒163-06 東京都新宿区西新宿1-25-1,
TEL 03-5381-5423, FAX 03-3348-1147)

**** 同上

水環境観測結果を示している。本文では、流水環境の調査とその調査結果を適用して実施してきたプレゼを通じて考察した多自然型水路の設計法試案とその現状の問題点を示す。

2. 多自然型水路を築造する上で考慮する必要がある項目

多自然型水路を築造する業務のフローとしては、大別して、事前調査～解析・分析～計画～設計～施工～維持管理があげられるが、ここで取り扱う設計とは、多自然型水路の築造業務を遂行する上で必要となる広義の設計とする。

まず、水の流れとそれに接する万象との関連性の観点から、多自然型水路を築造する上で考慮する必要がある項目を以下に示す。

2.1 人と水の流れ

- ・自由にアクセスできる。
 - ～道路と水路の間、通路と水辺の間には柵、垣根を作らないことを前提とする。
 - ～子供は、水の状態から安全か危険かを学習できる。
- ・水に触れる、安全に入る事が出来る。
 - ～垂直、急勾配護岸をさける。
 - 高水時への配慮も。
- ・見てきれい。
 - ～画一的な形状、護岸材料をさける。
 - 曲線部、瀬と淵(側岸に岩)を設ける。
 - 水質保全を考慮する。水垢の発生を防ぐ。
- ・においがしない。
 - ～従来河床をリフレッシュする。
 - 流入水のゴミをトラップする。浄化装置(礫、炭等)の設置
- ・適度な水音が聴こえる。
 - ～流速の強弱、落差工(横断方向に石をならべる；

沈み石、水切り石：沈み石より大きな石）、等を配置する。

- ・市民の川に対する要求を明確にする。

2.2 河床、側岸と水の流れ

- ・河床勾配，流量に則した川幅，水深，側岸勾配
- ・河床勾配，流量に則した河床，側岸の材料粒径，植生，生態

2.3 生態（魚，昆虫，鳥）と水の流れ

- ・生態が棲みやすい流速，水深，幅，延長，河床材料粒径の確保
- ・出水時の配慮が必要。～生態の逃避場所の設置。

2.4 植生と水の流れ

- ・周辺の植生，周辺構造物にマッチした植生を目指す。
- ・護岸のり面の植生は，植えてから根が生える時期と出水時期をずらす必要あり。
- ・出水時の配慮が必要。
- ・維持管理の配慮が必要。

2.5 周辺構造物，交通と水の流れ

- ・周辺構造物からの水の流れの見え方を考慮する。
- ・車道，歩道と水の流れの関係を考慮する。（歩道を川に取り込む場合もあり。）
- ・歩道の目的を明確に～河道内の歩道は子供に踏み荒して創らせことも一考。

3. 多自然型水路の設計法試案および個別の要素技術とその現状の問題点

多自然型水路を設計するためには，2. に示した項目を考慮しながら，以下に示す設計作業を行う必要がある。

3.1 多自然型水路の設計フロー

本研究およびその結果を用いて実施してきたプレゼを通じてまとめた多自然型水路の設計フローを示す。

- 1) 検討条件の設定
- 2) 水路の標準断面形状，河床，側岸の材料の設定
- 3) 水理計算
- 4) 水路の標準断面形状，河床，側岸の材料の決定
- 5) 水路の平面，縦断，横断断面形状の決定

6) 生態，植生配置

7) 水路の保守管理方法の設定

3.2 設計に必要となる個別の要素技術とその現状の問題点

多自然型水路は，3.1に示した設計フローにしたがい，つぎに示す個別の要素技術を用いて，現状の問題点はあるが，まがりなりにも設計することができる。

1) 検討条件の設定

検討条件は，2.1～2.5に示した項目から設定される条件の他に以下の条件が必要である。

地形条件～上下流水路および現況水路の形状，始点および終点の河床高

水理条件～高水流量，通常流量，渇水流量

ここで，始点および終点の河床高により，標高差すなわち水路全体の勾配が決定され，これらは，つぎに示す水音，水面形状，水質および水垢，水草に直接関係していることに注意しなければならない。

- ・水音，水面形状との関係；

標高差から，水音が発生可能な急勾配区間および落差工の設定可能箇所がきめられる。なお，水理量と水音，水面形状との関係は，筆者らが横浜三溪園，京都市賀茂神社，金沢兼六園等^{2) 3) 4) 5) 6)}で求めたデータを用いることができる。なお，水音，水面形状と人間の感性との関係に関しては，多くの今後の検討課題が残されている⁵⁾。

- ・水質，水垢，水草との関係；

横浜三溪園等の水路を観察すると，1つの水系でも，すなわち同じ流量，水質でも，水路勾配，流速，水深，河床材料により，河床に水垢，水草が発生している所としていない所がある。また，自然河川でも，渇水期の河床には水垢，水草が発生している。筆者らは，一応のデータは保持しているが，化学的な量である水質および生物的な量である水垢，水草と物理量である水理量の関係を明確にしているわけではなく，これらの関係を自然から学ぶのが今後の重要な検討課題の1つと位置づけている。

なお，これらの関係を満足する通常流量，渇水流量を選定することも重要である。

- 2) 水路の標準断面形状，河床，側岸の材料の設定

水路の標準断面形状に求められる条件としては、高水流量を流すことが可能な断面積を保持すること、および、子供までが安心して水に触れることができる側岸勾配を有することである。また、河床、側岸の材料に求められる条件としては、高水流量下で水路形状を保持すること、生態、植生の配置条件に即することである。

3) 水理計算

水理計算は大別して2種類に別けられる。第1の計算は、河床、側岸の材料の種類から決まる粗度係数とマンニングの平均流速公式を用いた等流水深の算定である。この計算により、各河床勾配毎の水路の標準断面形状が決定される。第2の計算は、河床、側岸の材料の安定を判定する計算である。この計算で、限界掃流力公式⁷⁾を用いることがあるが、限界掃流状態とは、河床材料のいくつかが移動しはじめる状態であることを考慮しなければならない。高水流量下で水路形状を保持できる河床材料を選定するためには、(1)、(2)式に示す移動限界流速公式⁸⁾を用いる必要がある。なお、(1)、(2)式を用いれば、随所に見られるような極端に大きな石が河床、側岸に必要なでないことが判る。また、高水流量下での植生の安定に関しては、ガイドライン(案)⁹⁾はあるが、研究途上の段階¹⁰⁾であり今後の成果に期待することが多い。

$$\frac{h_0}{d_g} > 5 \dots \frac{u_{*cg}^2}{\Delta g d_g} = 0.0275 \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{h_0}{d_g} \leq 5 \dots u_{cg} = 1.2 \sqrt{g \cdot \Delta \cdot d_g} \dots (2)$$

ここで u_{*cg} : 河床材料の移動限界摩擦速度、

u_{cg} : 河床材料の移動限界平均流速、

d_g : 河床材料中央粒径、 $\Delta = \frac{\rho_g - \rho_w}{\rho_w}$, h_0 : 水深、

ρ_g : 河床材料の密度、 ρ_w : 流体の密度、 g : 重力加速度

なお、(1)式から求まる u_{*cg} と比較する流れの摩擦速度 u_* を求めるためには、河床材料上の流れの抵抗則(3)式を用いる必要がある。

$$\frac{u_0}{u_*} = 7.44 \left(\frac{h_0}{d_g} \right)^{\frac{1}{6}} \dots \dots \dots (3)$$

ここで u_0 : 流れの平均流速、

u_* : 流れの摩擦速度

$u_{cg} > u_0$, $u_{*cg} > u_*$ により河床材料の安定が保たれる。

4) 水路の標準断面形状、河床、側岸の材料の決定

3) に示した水理計算により標準断面形状、河床、側岸の材料の最大粒径が決定される。なお、自然の溪流や礫床河川に見習い、河床、側岸の材料には、均一の粒径ではなく、粒度分布の広い材料を用いる必要がある。ここで、ほたるの生息には、小石混じりの砂9~7、泥1~3の河床が適すると言う研究例もある¹¹⁾。これらを参照して、広い粒度分布の材料を用いることにより、水質浄化、および多様な生態環境が期待される。

また、高水流量に対しての安全性を高めるためには、根固め工(蛇籠、そだ沈床、ブロック、水制)の使用を検討することもある。河床勾配の設定により、おのずと決められることであるが、上流は荒めの砂主体、中流は土主体、下流は床固めのために荒めの砂を用いるのが通例である。なお、水路を新設する場合の河床、側岸の材料としては、不透水層、砂利(フィルター材として; 4層の厚さ)、石(高水時に流されない; 4層)+砂利、砂(目潰し、アーマーコート)、の順に設置する必要がある。植栽を植える場合には、その上に植栽の生育に必要な厚さの土を施す。

5) 水路の平面、縦断、横断断面形状の決定

2.1~2.5に示した項目に則するように、また、以下の項目を遵守して水路の平面、縦断、横断断面形状すなわち全体像を決定しなければならない。

- ・水制は、護岸、低水敷の安定化のために用いることが基本である。
- ・緩勾配部では、曲線部の水衝部に岩を設置することにより、おのずと瀬と淵が形成される。
- ・既設水路との平面すり付けには、急縮は用いない。等

なお、側岸形状に関しては、横断方向には、人が安全に水にふれることができることと、縦断方向には、適度な抑揚(アンジュレーション)をつけることも大事である。この適度な抑揚に関しては、横浜三溪園、紀州養翠園等の水辺の散策路⁶⁾が手本となる。

6) 植生、生態の配置

植生、生態の配置には、周辺植生、生態の調査結果を十分に考慮することが重要である。また、水生生物のためには、陰影効果を保持するために柳等の利用も考慮する必要がある。

7) 保守管理方法の設定

水路を健全に保つためには、上流でのゴミのトラップ装置、水質浄化装置（礫、炭等）、下流での砂トラップ装置等を、橋の下等の人目に付かない場所に設置ことが求められる。また、高水後の水路の整備、植生、生態の整備、場合によっては、河床のリフレッシュも必要となる。

4. まとめ

土木工学は、総合工学、経験工学であることを考慮して、自然河川および伝統（匠）が引き継がれた日本庭園の水路から自然の法則、伝統技術を学び取ることにより、日本古来の伝統を受け継ぎ、真に市民に理解される、また、市民に感動される多自然型水路の建設を目指している。本文では、この理念の下に実施している流水環境の調査と、その調査結果を適用してきたプレゼを通じて考察した多自然型水路の設計法試案とその現状の問題点を示した。

近年は、多自然型河川の研究が盛んに行われているため、あまたある研究の中で本文では取り込まなかった参考文献も多いと推測され、ご容赦願いたい。また、本研究は多くの方と討論しながら進めている。これらの討論に参加していただいた方に感謝します。なお、本研究は研究途上であり、今後、本文を基に大いに議論を進めることにより、より良い多自然型水路の設計法を作成して行きたいと考えている。

参考文献

- 1) 石野和男他：明治大正期自然式総合園の流水環境調査，土木学会，第50回年次学術講演会第Ⅳ部門，1995.9
- 2) 石野和男他：明治大正期自然式総合園の河川環境調査～外苑水路の水理環境調査結果～，土木学会 河道の水理と河川環境シンポジウム論文集，pp167～174，1995.6
- 3) 石野和男他：明治大正期自然式総合園の河川環境調査～内苑水路の水理環境調査結果～，第18

回土木計画学研究発表会，pp473～476，1995.12

- 4) 田中瑞穂他：明治大正期自然式総合園の河川環境調査～流水形態と流水音に関する考察～，第18回土木計画学研究発表会，pp477～480，1995.12
- 5) 石野和男他：庭園の遣水を例とした日本古来の河川環境評価に関する研究，水工論文集，第40巻，pp163～168，1996.2
- 6) 石野和男他：庭園を例とした日本古来の水環境の考察，環境システム研究投稿中
- 7) 土木学会水理委員会：水理公式集昭和46年版，pp200～202，1971.11
- 8) 石野和男：急潮流下における橋脚周辺の捨石洗掘防止工に関する研究，日本大学学位論文，pp32～49，1993.9
- 9) 建設省河川局治水課：河道内の樹木の伐採・植樹のためのガイドライン（案），1994.2
- 10) 建設省河川局治水課等：河岸防御の設計手法に関する研究，土木技術資料38-4，pp44～49，1996.4
- 11) 南：復刻 ホタルの研究，(株)サイエンティスト社，1983.5