

ヨーロッパにおける「多自然型川づくり」について
—諸文献による実施事例の検討—

福嶋健次

A Consideration of
Nature-Oriented River Improvement
in Europe

Kenji FUKUSHIMA

Abstract

I have conducted an analysis of the natural and social conditions of river improvement projects based on reference materials and on-site surveys. Conducted in Japan and abroad, these surveys concerned river improvement projects that give consideration to the ecosystem. The foreign surveys were conducted in Germany, Switzerland and Austria. We studied projects undertaken in these countries to provide reference for use in nature-oriented river improvement in Japan.

Nature-oriented river improvement in Switzerland and Austria tends focus on river bank protection because of weather conditions and characteristic of mountain areas, geographical conditions and characteristics of the river and utilization of land (Fig.2~Fig.5, Fig.23, Table.1~Table.3).

Germany is active in nature-oriented river improvement and thus, reproduces biotopes to protect the environment of the entire river basin including the river itself and the agricultural land (Fig.9, Fig10, Fig.24~Fig.27, Table.4, Table.6, Table.9)

These projects are widely supported by Germany's awareness that the agricultural land is going barren and crisis of environment deterioration. As a result, environmental system and governmental organizations are well established (Fig.7, Fig.8).

When applying the European method of nature-oriented river improvement to Japan, it is important to note the weather and geographical conditions in Japan, as well as the cultural and conceptual differences in ways of utilizing land around the river basins.

Forest area in Switzerland, Germany and Austria amounts to approximately 26~39% of the total country, and pastures amount to over 50% of the entire area in these countries. In

Japan, the ratio of the forest area to total country area amounts to approximately 67% of entire area. Farmland amounts to a mere 12%.

River basin in Europe are mainly grasslands and most of the rivers have no banking. The tendency of plants to grow slower than in Japan and relatively limited rainfall has the effect of increasing concentration of river pollution from agricultural pesticides and chemicals fertilizers through the grass. The environment is also endangered by pollution of underground water. This is why it is so important to protect biotopes and revitalize the natural purification functions of rivers in Europe.

Most of nature-oriented river improvement methods employed in Switzerland and Austria are similar to Japanese traditional river improvement methods. Their main distinguishing characteristic is that willows and other plant life are used to create a rather simple stream-bank protection (Fig. 14~Fig. 22, Fig. 29, Table. 15~Table. 17, Table. 21)

Application of European methods of nature-oriented river improvement to Japan will require evaluation of techniques for maintaining and controlling plant life and floods (Table. 13~Table. 16, Table. 18).

Currently, nature-oriented river improvements in Japan has a tendency to focus on improving river bank protection. However, in the future it is expected that there will be a need to take flood control measures giving consideration to protection of biotopes and integrating the concept of "green networks" (Fig. 30, Table. 20) For example, the ecosystem of entire region can be protected by organically networked retarding basins, former streams, small reservoirs and agricultural irrigation with rivers.

1 まえがき

近年、わが国の河川整備においては、従来の治水対策に加え、良好な環境づくりに対しても配慮した質の高い整備を行うことが重要な課題となっている。中でも、自然生態系に対して配慮した「多自然型川づくり」については、その理念あるいは工法などが、ヨーロッパを中心にして、この数年の間に急速に日本に紹介されてきた。それらの日本への適用に対して、日本の在来工法の見直しを含めて、現在種々の模索が始まっている。しかし、日本の河川整備に対して「多自然型川づくり」を適用する場合、種々の制約と検討しなければならない課題がある。また、海外で実施されている事例についても、その背景となっている諸条件が必ずしも明確ではなく、適用されている工法についても、十分理解されていない面もみられる。

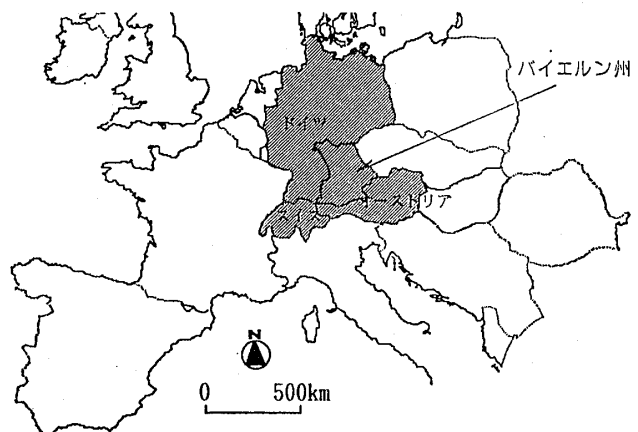
筆者は、1991年と1992年に、「多自然型川づくり」の調査のため、ドイツ、スイス、オーストリアの現地視察を行うとともに、関連する内外の文献を収集した。収集した文献は、その量と内容において、「多自然型川づくり」の全容を把握するにはほど遠いものであるが、これらの国々で実施されている「多自然型川づくり」の背景となっている自然条件や社会条件、あるいは考え方を整理分析するとともに、日本への適用について比較検討を

行った。

2 河川をとりまく自然環境

2・1 気象

「多自然型川づくり」の行われているドイツのバイエルン州、オーストリア、スイスなどの中部ヨーロッパの国々(図一1参照)の気象条件を概観すると、日本のように著しい荒天が比較的少ないことが特徴である。ケッ



図一1 「多自然型川づくり」が行われている国
Fig. 1 Countries using nature-oriented river improvement technique

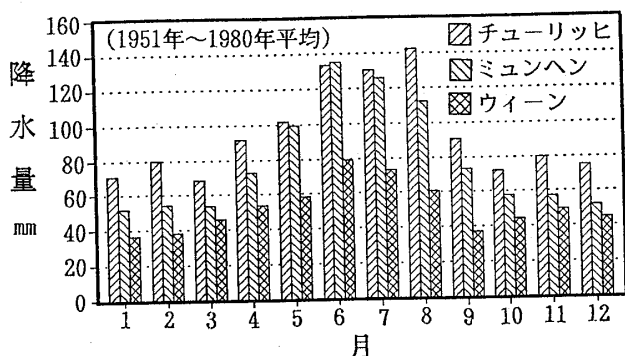


図-2 降水量の月別平均値²⁾
Fig. 2 Average monthly precipitation²⁾

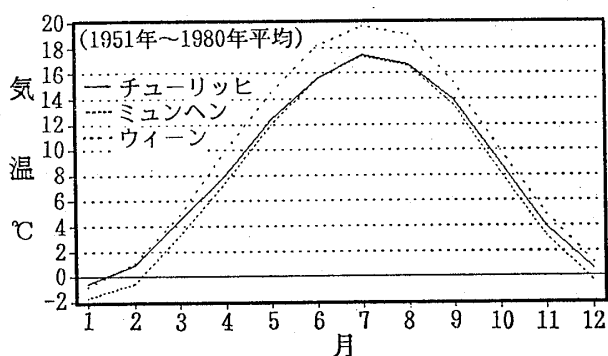


図-3 気温の月別平均値²⁾
Fig. 3 Average monthly temperature²⁾

ペンによる気候類型区分を用いると、ドイツ南部のバイエルン州では湿潤大陸性気候*、スイスやオーストリアは山地気候**に区別されている¹⁾。

「多自然型川づくり」を検討する上で重要な気象条件は、河川流量に影響を及ぼす降雨および植物の生育を決定づける気温、日照である。ドイツのミュンヘン、スイ

* 湿潤大陸性気候……ドイツ中央部からロシアを含む広大な地域に見られ、大陸気団の影響を受けるため、夏と冬の気温の差が大きい。降水は、年間を通じて平均して500mm前後である。ドイツ南部の洪水被害と直接関係する気象現象としてフェーンがある。このフェーンは、低気圧が西からドイツ南部を横切るとき、この低気圧が地中海地域の大気を引きつけ、アルプスの南斜面に大気の流れが生じるときに地形性降雨が発生し、ドイツ南部に高温となって吹き下ろす現象で、多量の融雪水をもたらす。春先の洪水はこのフェーンによって起こる。

**山地気候……ヨーロッパアルプスの山岳地帯に認められる気候で、冬の降雪や夏と冬の気温の差が大きいことなど、地域によっていろいろな特徴を示す。年間の降水量が1,000mmを越える地域が多く、年間を通して降水が見られる。

スのチューリッヒ、オーストリアのウィーンの降雨と気温についての月別平均値は、図-2および図-3に示す通りである²⁾。

これらの都市の年間降水量を平均すると、1,000mm以下であり、夏期に多いのが特徴である。降水量の地理的分布を見ると、北バイエルンでは年間降水量700mm程度、南バイエルンの年間降水量は900mm程度、スイスやオーストリアのアルプス地方では年間1,000mm~1,500mmである。

植物の生育に大きな影響を及ぼす冬季の月別気温は、ミュンヘン、チューリッヒ、ウィーンのいずれの都市でも、氷点下-1°C前後を示す。

これらの降水量および気温は、日本の北海道にほぼ近い値を示している。

2・2 地形と地質

(1) 地形

日本の地形は、わずか数百年から数千年前に陸化した低平地と、河川の上流部には現在も活動を続けている火山が多く分布し、たび重なる造山運動の影響によって、地質的には不安定な要素をもっている。したがって、流域を流れる河川の土砂の供給、運搬、堆積の活動が活発である。これに対してヨーロッパでは、たとえば、北ドイツ平野は氷河が削った平野であり、セーナ河流域は準平原であるように、概して安定した平地を河川が流下するため、土砂の運搬、堆積の作用は一般に小さい。したがって、河川の土砂供給量は、日本の河川に比較して、ヨーロッパ大陸の河川の方が相対的に少ない。

「多自然型川づくり」が行われている中部ヨーロッパの地形は、地史的にみると、約7万年前から1万年前まで続いたヴィルム氷期以降、現在までのおよそ1万年の間は、河道の侵食力が弱まり、河道は固定されて、地形的な変化はほとんど受けていない。また、現在の河床堆積物は、その大半が新石器時代の森林破壊（過剰放牧、森林伐採）の進行とともに顕在化した洪水によってもたらされたものであるといわれている³⁾。

一方、日本の河川とヨーロッパの河川の侵食速度を比較すると⁴⁾、ライン川のボーデン湖より上流部の標高が400~4,000mの流域では、河川の侵食速度は321m³/km²/年、ドナウ川のウィーンより上流の標高は100~4,000mの流域では、河川の侵食速度は70m³/km²/年で、ヨーロッパアルプス周辺の河川は、1,000m³/km²/年を越えるものは見られない。これに対して、日本の河川の場合は、上記の河川と同じような流域高度をもつ中部地方の山地河川で侵食速度が1,000m³/km²/年を超え

るものが多く、また、平地河川においても、ヨーロッパと較べて日本の場合は大きな侵食速度を示す。

このことから、「多自然型川づくり」が行われているヨーロッパの中央部では、日本に比べて河川の土砂供給量が少なく、河道の形態や断面形状は安定した状態にあるものと考えられる。

(2) 地質

「多自然型川づくり」の行われているスイスのチューリッヒ州、ドイツのバイエルン州およびオーストリア西部の地質は、主にモラッセという碎屑物を主とする厚い第三紀層からなる。このモラッセは層相変化に富み、礫岩、砂岩、泥岩などで構成されている。基盤を形成するモラッセの上は、氷河が運搬する岩屑群（氷堆積：モレーン）と呼ばれる堆積物によって覆われており、表土や風化帯は日本に比べてそれほど厚くない。なお、北バイエルンは花崗岩質となる。

日本におけるモラッセは、西南日本内帯の上部三畳系

や北海道の中新統などに見られる⁵⁾。

2・3 植生と土地利用

(1) 植生

ヨーロッパの原植生は、先史時代から人為的改変が加わり、近年ではわずかにしか残存していない。特に最も著しい改変を受けたのは、過去200年の間であり、それ以前に存在していた原植生分布パターンは、低地における落葉広葉樹林と、山林における針葉樹と落葉樹の混交林に代表される。

落葉広葉樹林の優占種は、カン、ニレ、ブナ、ポダイジュ、トネリコなどに代表される。この種の林地は農耕に適しており、長い年月の間に、落葉が堆積して豊かな腐植層を形成している。常緑針葉樹林は、トウヒやモミヤマツで特徴づけられる。国土面積に占める森林の割合は、ドイツで29%、スイスで26%、オーストリアで39%となっている¹⁾。

表-1 多自然型河川の背後地の状況⁶⁾⁷⁾

Table.1 Present state of backlands of nature-oriented improved river^{6),7)}

【ドイツ・バイエルン州】

河川	場所	流域面積 (km ²)	背後の状況
ヴァイスバッハ川	トリニス	92	森林と別荘地
シュリーラッハ川	ミースバッハ	56	市街地
マンファール川	ローゼンハイム	1,099	農地
イン川	ヴァッサーブルグ・アム・イン	11,983	市街地

【スイス・チューリッヒ州】

河川	場所	流域面積 (km ²)	背後の状況
レピッシュ川	ビルメンスドルフ	46	軍兵舎敷地
テス川	ヴァインタトゥール	330	農地
〃	ロアバス	429	農村集落
〃	〃	429	農村集落
〃	ヴォルフリンケンハルト	330	農地
アピスト川	マルターレン		農村集落
ネフ川	ネフバッハ	30	農地
ツール川	シュタイネック	1,700	農地

【オーストリア・ザルツブルク市】

河川	場所	流域面積 (km ²)	背後の状況
アルターバッハ川	ザルツブルク市内	30.2	住宅地・農地

「多自然型川づくり」の行われているドイツ南部、スイスおよびオーストリアにおける植生は、針葉樹林を主体とする落葉広葉樹林との混合林からなり、日本の北海道の自然植生に類似したものが多く見られる。

(2) 河川の背後地の土地利用

河川の背後地の状況は、表一に示すように農地（主に牧草地）が多いことが特徴で、ほとんどの河川は掘込み河道となっている。なお、国土面積に占める農地の割合は、ドイツ、スイス、オーストリアでは50%以上である。日本の場合には、国土面積に占める農地および森林の割合は、それぞれ、12%および67%となっている。

(3) 土地利用と土壌

落葉広葉樹林で覆われていた中部ヨーロッパの多くの地域では、肥沃な複色森林土壌が発達していたが、森林が開墾され、牧草地として利用されるようになってから何世紀もの間に、犁耕と施肥が繰り返された結果、ほとんど完全に人工の土壌に変わってきた¹⁾。

ヨーロッパにおいては、近年、牧草地からの農業や化学肥料による汚染が問題となっており、農業が土壌を介して川の水質へ悪影響を与えることが懸念されており、その対策として、水辺の緑地帯（緩衝帯）が重要な意味を持っていることが再認識されるようになってきた。

2・4 河川特性

(1) 流路長と河川勾配

「多自然型川づくり」が行われている河川は、ドナウ川やライン川の支川にあたり、山岳地帯を流れていることによって、流路長は短く（おおむね100km以下）、表一に示すように、1/1,000以上の勾配の急流河川が多く、大部分は掘込み河川であることが特徴である。

(2) 洪水ピーク流量とハイドログラフの特徴

10,000m³/sクラスの計画高水流量をもつライン川や

表一 多自然型河川の計画勾配^{6),7)}
Table.2 Planned river bed gradient of nature-oriented improved river^{6),7)}

国、河川名	計画勾配
スイス、レピッシュ川	1/250
スイス、ツール川	1/900
スイス、ミューリ川	1/150
ドイツ、ヴァイスバッハ川	1/140
ドイツ、イン川	1/100
オーストリア、アルターバッハ川	1/60

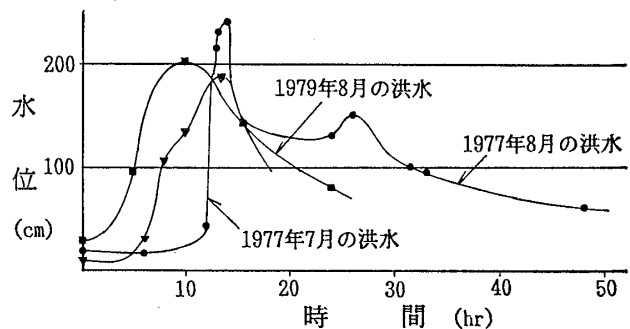
ドナウ川の流域面積は、ほぼ同じ洪水ピーク流量値を示す日本の利根川、木曾川、石狩川の流域面積の10~20倍の大きさである。そして、日本の大河川の場合は、狭い流域に対して短時間に多量の降水が流れるが、ヨーロッパの大河川の場合には、年間降雨量が日本の約半分と少なく、連続した豪雨が日本ほど多くないことによって、その流域面積が広いのにもかかわらず、洪水ピーク流量はかなり小さい。

日本の河川に比べて、ヨーロッパの河川は、勾配が緩く、流域面積が広く、長い流路長をもっているために、融雪期と長期にわたる降雨が重なった時期に洪水継続時間が長くなり、ハイドログラフ上のピークは緩いカーブとなる⁸⁾。

「多自然型川づくり」を行っている河川のハイドログラフの1例として、オーストリア西部のザルツブルク市を流れるアルターバッハ川のハイドログラフについて述べる。

アルターバッハ川流域の年平均降雨量は、1,565mmを示しており、降雨は比較的連続している。過去の記録によれば、1920年に2.5日間の連続降雨が見られた。この地域の標高は、スイスと同じように550mと高く、極地的な大雨が発生しやすい。1977年8月には、わずか0.5時間の集中豪雨による大洪水によって、ザルツブルグ市内は大きな浸水被害を被っている。過去に観測されたハイドログラフの特徴は以下の通りである（図一4参照）。

- ①降雨直後から急激な水位上昇が見られ、その後、急速な低下を示す。
- ②1977年8月に発生した洪水時には、わずか2時間で水位が40cmから240cmに上昇している。
- ③ハイドログラフにおけるピークが鋭い凸形を示す理由としては、急峻な地形勾配が第一にあげられる。また、流域の広範囲にわたって樹木が少なく、保水性が悪いこと、さらに、市街化の進展によって、表面流出が大きいことも原因の1つになっていること



図一4 アルターバッハ川のハイドログラフ⁷⁾
Fig. 4 Hydrograph of flooding of the Alterbach River⁷⁾

が考えられる。

スイスの河川については、ここに示したアルターバッハ川と地理的に近接しており、また、気象条件や地形も似ているため、ハイドログラフも同じような傾向を示ものと予想される。

ドイツのバイエルン州の河川については、スイスやオーストリアの山間部よりも降水が少なく、また、丘陵地を流れるために、ハイドログラフは、アルターバッハ川の場合よりもやや緩い曲線を描くことが予想される。

(3) 洪水の月別頻度

アルターバッハ川における1976年～1986年の10年間の洪水（水位100cm以上；流量10m³/s以上）の月別頻度を図-5に示す。洪水は、この10年間に合計43回記録されており、冬季の融雪および浮氷によるもの以外は、洪

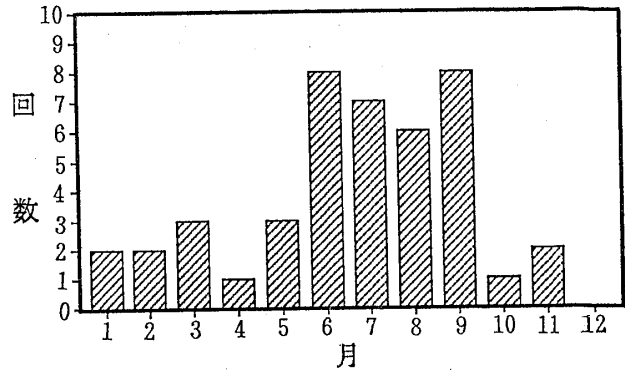


図-5 アルターバッハ川の過去10年間における洪水発生 の月別頻度⁷⁾

Fig. 5 Average monthly flooding of the Alterbach River over the past ten years⁷⁾

表-3 多自然型河川の計画流量と流域面積^{6),7),9)}

Table.3 Estimated high-water discharge and drainage area of nature-oriented improved rivers^{6),7),9)}

国	河川名	流域面積 km ² ①	最小流量 m ³ /s ②	平均流量 m ³ /s	最大流量 m ³ /s ③	100年 計画 高水流量 m ³ /s ④	河状係数 ③/②	計画高水 比流量 m ³ /s/km ² ④/①
ド イ ツ	エーガー	164	0.20	0.50	15.0	135	75	0.82
	エルフ	255	0.42	1.40	16.6	105	40	0.41
	ケスナツハ	74	0.45	1.35	17.5	64	39	0.86
	フィルス	719	1.00	5.20	60.3	337	60	0.47
	ロイザツハ	424	1.28	11.1	74.0	295	58	0.70
	イーゼン	165	0.25	1.75	40.0	140	160	0.85
	カール	129	0.37	1.30	12.0	85	32	0.66
	ジュバルツアハ	177	1.29	4.30	13.0	81	10	0.46
	イラー	950	4.06	47.1	320	750	79	0.79
	アルトミュール	1399	1.02	9.18	47	180	46	0.12
	イツツ	364	0.32	4.94	40	125	125	0.34
	ミステルバッハ	85	0.1	0.8	8.5	53	85	0.62
	バイスバッハ	92				140		1.52
	ジュリーラツハ	56				80		1.43
ス イ ス	レピツシュ	46				92		2.00
	テス	429				450		1.05
	ネフ	30				57		1.90
オース トリア	アルターバッハ	30	0.15	0.77		104		3.47

水の大部分は6月～9月に集中している。したがって、夏季における河川工事は意図的に避けている。

(4) 河川流量と計画高水流量

中部ヨーロッパの「多自然型川づくり」を実施している河川について、それらの流域面積、河川流量、計画高水流量などを整理して表-3に示す。計画高水流量は年超過確率1/100で計画されている。流域面積は500km²以下のものが多く、計画高水比流量 n （計画高水流量/流域面積）は1以下のものが多い。

表-3に示すように、ドイツのバイエルン州を流れる「多自然型川づくり」を行っている12の河川の河状係数（最大流量/最小流量）は、おおむね数十の程度である。これらのうち、流域面積が500km²以上の3河川の河状係数は46～79で、平均は62である。一方、流域面積が500km²以下の9河川の河状係数は、10～160で、平均69である。

この例が示すように、流域面積の大小にかかわらず、一般に、ヨーロッパにおける河川の河状係数は数十程度で、日本のそれは数百の値を示している。

年間の流量の変動の目安として、上記の12の河川の最大流量に対する平均流量の割合を求めると、3～33%の範囲にあり、平均値は12%となり、「多自然型川づくり」の河川の流量変動は小さく、日本の河川が年間を通して不安定な流況であるのに対して、ヨーロッパにおいては、山地河川でも比較的安定した流況をもっていることがわかる。

(5) 洪水災害の特色

スイスにおける洪水災害を例にとり、その特徴をまとめると、つぎの3つに分けることができる¹⁰⁾。

- ①土石流災害
- ②河道災害
- ③水災害

スイスの河川は、ライン川に合流するものを除き、その多くは湖に流入している。過去に経験した豪雨による災害は、長雨によって湖水の水位が上昇しているところへ、強度の大きな降雨が加わり、水位が急激に上昇し、その背水の影響による越水によって、内水氾濫を引き起こすことが特徴となっている。したがって、湖の浚渫が重要な災害復旧工事となっている¹⁰⁾。

1987年に発生した大水害においては、死者8人、被害総額1,200万スイスフラン、ロイス川（ライン川の支川アーレ川の支川）における最大流量としては800m³/sを記録しており、この洪水を教訓として河川整備の方針を以下のように示している。

①対象工作物の重要性に応じた保護対策の検討

②潜在的な影響度合いを考慮した対策の検討

③積極的な洪水対策（流下能力の確保）のために、計画高水流量だけでなく、他の影響要素を考慮した計画の策定

(6) 日本の河川の洪水特性および流況

日本の河川は、流域のもつ自然条件（地形、気象）の違いから、ヨーロッパの河川と比較した場合、一般に、以下の特性を持っている¹¹⁾。

- ①河川勾配は急で、流路長は短い
- ②洪水のピーク流量が大きく、ハイドログラフが鋭い形状を示す。
- ③洪水時の流量と渇水時の流量の差が大きい
- ④流域の地形および地質は不安定であり、供給土砂が多い

これに対して、「多自然型川づくり」が行われている中部ヨーロッパの中小河川は、河川勾配や流路長などは日本の内陸部における中小河川とそれほど違わないが、洪水特性、流況、供給土砂量は、日本の河川に比較して異なるものと考えられる。

3 河川をとりまく社会環境

3・1 河川利用と治水の歴史

(1) 河川利用の歴史

水と緑に代表される河川、湖沼などは、人間の生活にとってかけがえのない憩いの空間であるばかりでなく、生物の棲息に対しても極めて重要な空間として再認識され始めたのは、ヨーロッパにおいてもごく最近のことである。

それまでは、河川は、飲用、灌漑、水車、舟運などの生活・経済的手段に利用されているに過ぎず、都市部においては、外敵から都市を守る天然の要害としての役割を担うとともに、商業の発達に伴い、物資の移動手段として重要な役割を果たしてきた。

「多自然型川づくり」が行われている中部ヨーロッパのスイスおよびオーストリアにおいては、山間地や丘陵地を流れる中小河川が多く、これらの河川の多くは急流であるので、主に水車や発電などのような動力としての利用が盛んに行われている。

ドイツのバイエルン州では、11世紀頃から河川の水力が動力として使われ出したといわれる。この当時には、主に中小河川で必要な落差を得るために、谷底を流れる河道を谷の際に移動させ、そこに水車を設置することが多く、水車船の利用も見られた⁹⁾。

(2) 河川の背後地の変貌

表一4 農村の変貌と農業政策課題の推移¹²⁾Table. 4 Changes in agricultural districting and agricultural policy in Germany¹²⁾

1950年代初頭まで	: 食料増産による土地生産性向上
↓	
1960年代の初め頃まで	: 農業構造改善による労働生産性向上
↓	
1970年代の中頃まで	: 生活環境整備による農村構造改善
↓	
1970年代の中頃以降	: 自然環境整備による農村景観保全

河川の背後地（主に農村部）の環境は、20世紀後半に入り大きく変貌したといわれている。なかでも、ドイツでは、農業就業人口が1950年から1990年の40年間に1/5以下に減少し、農家戸数は同じ時期に1/3近くにまで減少した¹²⁾。農業環境の変化は、農業の近代化や農地整備とともに、交通網の整備、工場などの進出などによってもたらされたものであり、また、このために、農村景観も大きく変貌した。生産性向上のために、農薬と化学肥料を多用し、大型機械を利用する農業形態は、農村景観から樹木を消失させ、水辺はコンクリート張りとなって、農村景観の多様性を失わせるとともに、生態系のバランスを大きく損なうこととなった。

このような状況を懸念する指摘は、1970年代に入ってから活発化した自然保護運動とともに盛んになり、自然保護、景観保全に重点を置いた面的な整備として、1976年に農地整備法の改正が行われ、また、同年には「自然保護および景観保全」に関する法律も制定された¹³⁾。この時点までの農村の変貌と政策課題の推移は、表一4に示すようになる。

これらの法のもとに1980年代に強く推進された農地整備事業は、農業の生産性を失うことなく、農村地域の自然生態系を回復させる手段として多くの成果を生み、現在では社会的な評価を受けるまでになっている。

以上のように、「多自然型川づくり」を実施している国のなかで、ドイツにおける対策は、川の中だけの発想ではなく、流域の農村整備の中で、景観保全と生態系を保護することに可能な限りの考慮を払うことを前提として考えられた面的な整備であることが特徴である。

(3) 治水の歴史

ドイツ、スイスおよびオーストリアにおける治水の歴史は古く、ローマ時代にまで遡ることができる。しかしながら、国（あるいは州）による本格的な治水事業は、

18世紀以降から始まった。

(a) ドイツ

ドイツ南部のバイエルン州における治水事業は、19世紀初頭に遡る。1817年に、トゥラの設計によってライン川上流の改修事業が始まると、それに引き続いて、ドナウ、イラー、レヒ、イザール、イン、ザルザッハなどのバイエルン州内を流れるドナウ川の主な支川の改修事業が開始された⁹⁾。これらの工事の完成は、スイスやオーストリアと同様に、20世紀の初頭であった。これらの改修事業は、洪水対策とともに、複雑に蛇行あるいは分流していた河川を直線的に整備して、農地の確保や船の航行を確保すること、さらに、水力発電などの立地の確保を狙ったものであった。

主要な河川については、19世紀初頭から20世紀にかけて改修事業が実施され、治水上の安全度は飛躍的に向上した。一方、小規模河川についても、農地の有効活用のために、20世紀初頭からショートカットや三面張りの護岸整備などが実施されるようになり、改修事業は戦後まで続いた。その結果として、下記のような不都合な事項がでてきた。

- ・河道の下方侵食による周辺地下水の低下
- ・水辺林の環境悪化による伐採の増加
- ・直線的な河道と護岸による田園景観の阻害

最近の20年間では、これらに対処するために、遊水地および貯水ダムの建設を図るとともに、環境保全を兼ねた水辺の緑地帯の保護やビオトープ（生物棲息空間）の形成が大きく注目されるようになってきた。

(b) スイス

スイスでは、1876年に発生した大水害を契機にして、1877年に河川工事警察に関する連邦法が成立し、全国的に治水事業が展開された。その結果、山地のみならず平野においても、水防工事の著しい発展が見られた。この治水事業は、山の多いスイスの地形条件を考慮して、主として、階段状に堰堤を建設したり、斜面を保護して植林するなどの砂防事業が中心となっている。また、河川事業については、下記のような改修対策に対する方針を定めている¹⁴⁾。

- ・河幅の拡張と河道を短縮することによって、河川勾配をわずかに増大させて、送流土砂の運搬を容易にする
- ・洪水による湖への土砂の堆積によって、湖の水位調節が必要になるために、湖に流入する排水路を整備する
- ・蛇行して流路が一定しない荒れ川を強固な堤防の中に納め、流路を固定する

● オーストリア

オーストリアにおける国家的な治水事業は、19世紀に実施されたドナウ川の治水事業が本格的なものである。ドナウ川によって度々の洪水氾濫に見舞われていたウィーン市では、ドナウ川の支川を埋めてドナウ本川に統合するとともに、本川のショートカットと浚渫によって、総合的な洪水対策を実施した。

3・2 河川整備にかかわる行政組織と制度

● ドイツ

ドイツにおいては、連邦制がとられており、その下部にあたる「州」や「自由都市」は、連邦から独立した行政を行っている。

バイエルン州政府は、総理大臣の下に、法務、連邦関係、内務、大蔵、経済交通、食料農林、社会、文部、国土環境の9名の大臣で構成されており、国土環境大臣がおかれているのは、バイエルン州のみである¹³⁾。国土環境大臣は、日本における環境庁長官と同じような役割を担っている。開発や整備事業の計画から実施に移る段階において、環境影響調査を国土環境省自然保護局が行い、最終的な許可を与える。日本の建設省に当るのが内務省建設局で、「多自然型川づくり」などの環境整備に関連する主務官庁は、内務、食料農林および国土環境の各省である。

ドイツの河川のうち、国際間にまたがる河川は連邦政府が管理し、それ以外は州ごとに河川管理が行われ、州の下には河川ごとに水管理組合が置かれている。バイエルン州では、河川を規模に応じて、1級河川、2級河川および3級河川に区分して管理しており、バイエルン州が管轄する治水および利水の施設は表-5に示すとおりである。各河川の管理については、1級河川は州、2級河川は郡あるいは市町村、3級河川は個人や組合などに比重を置いている。

バイエルン州内務省の組織は、図-6に示す通りである。

表-5 バイエルン州内の河川構造物等管理施設一覧¹⁶⁾
Table.5 Structures on rivers in Bayern¹⁶⁾

1級河川	3,300 km
2級河川	4,700 km
3級河川	40,000 km
堰堤と貯水池	25箇所
生活排水および産業排水の流入	3,900箇所
産業用の間接的な取入口	2,000箇所
水質保護地域	4,200箇所
水害地域	1,600箇所
水力利用設備	4,200箇所
その他の監視箇所	

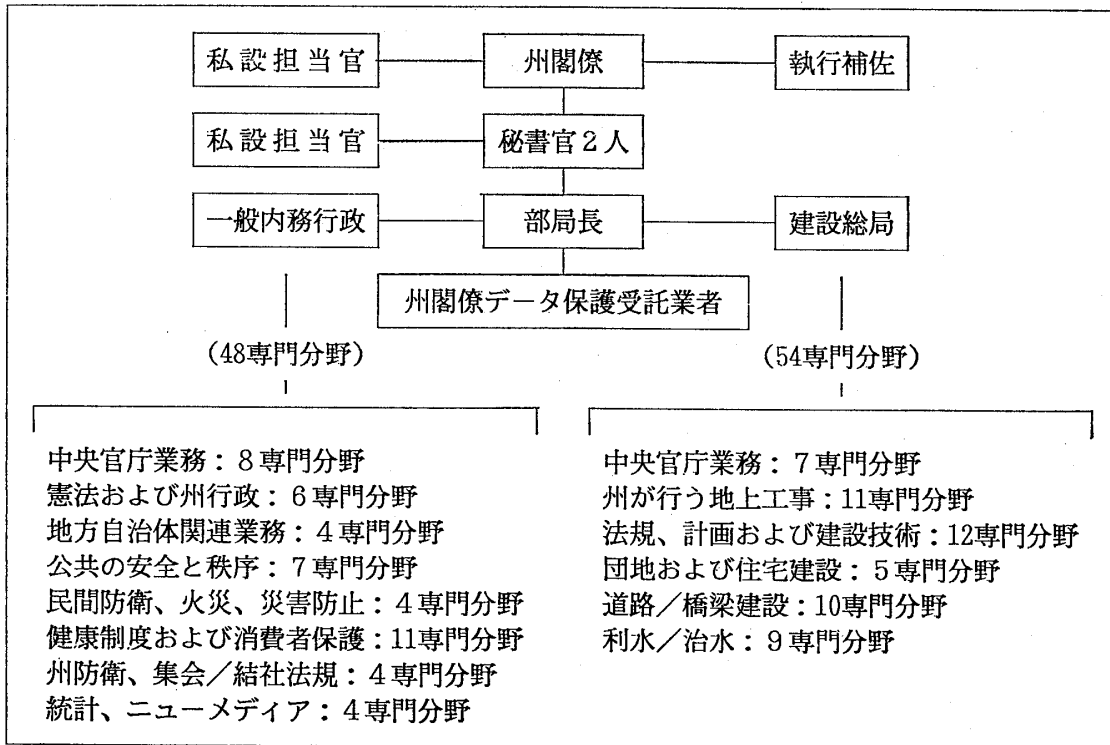


図-6 バイエルン州内務省の組織図¹⁶⁾

Fig. 6 Organization of the Department of Interior in Bayern¹⁶⁾

り、そのうちの建設総局の組織を図一7に示す。また、建設総局の役割を整理して表一6に示す。

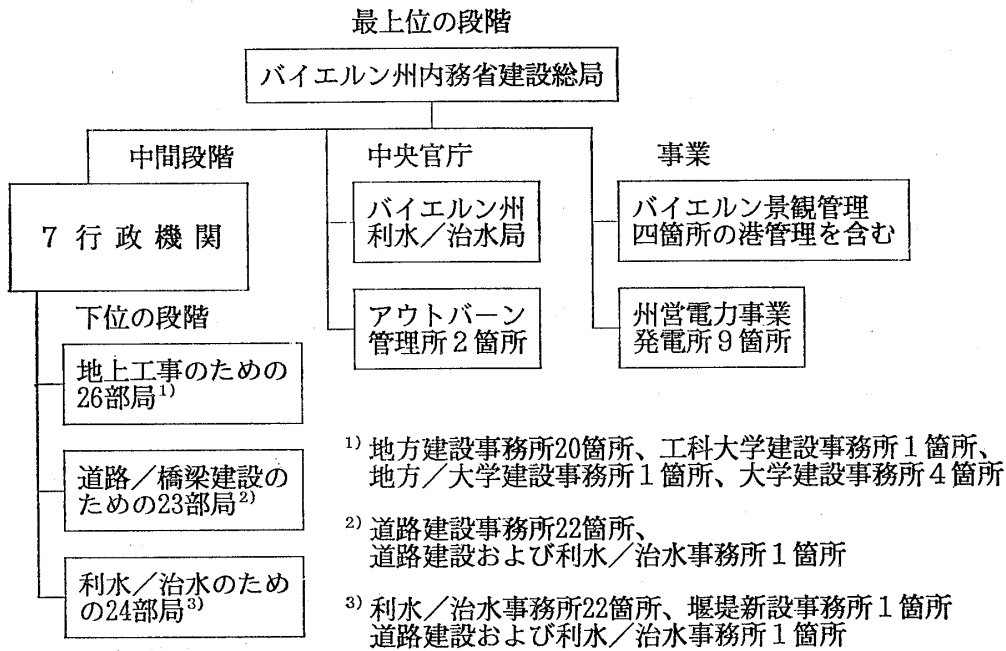
農村整備を含む広域的な環境整備では、当然、「多自然型川づくり」のような河川環境整備も包括されることになり、内務省建設総局と食料農林省で複雑な役割分担となる。

河川の再活性化などや「多自然型川づくり」などの中小河川整備の実施主体は地方自治体で、州の補助を受けることができ、個々の事業に対する補助率は、地方自治

体の能力に応じて決められている。

日本の行政組織と大きく異なることは、行政組織の中に直営の現場作業員やそれぞれの事業に応じた臨時職員が多いことである。

ビオトープの創出や「多自然型川づくり」と関係の深い農地整備事業および村落再整備事業の所管は、バイエルン州の食料農林省の農地区画整理部である（図一8参照）。実質的な業務は、州内を7つの行政地区に分け、それぞれの農地整備局が担当している。各整備局は数百



図一7 バイエルン州内務省建設総局の組織図¹⁶⁾

Fig. 7 Organization of the Bureau of Construction in the Department of Interior in Bayern¹⁶⁾

表一6 治水・利水の建設行政の役割¹⁶⁾

Table.6 Role of government in flood control and water utilization in Bayern¹⁶⁾

- ・エコロジーに基づく水資源管理上の目標の開発
- ・専門的計画、水に関する研究の推進
- ・公的問題関与機関および専従官公庁として利水あるいは治水の管理を行なう
- ・一級河川、貯水池、境界河川、溪流および地区の委託による二級河川に関する計画と建設および維持と利用
- ・農村地域における利水または治水施設（排水、灌漑、養魚池、三級河川の処理と維持）の計画と建設。耕地整理については、特に関与地域社会のために経済的側面から離れてそれぞれの推進体の委託による
- ・州港および州営発電所についての計画と建設および運営と維持
- ・水文学的データの収集、および河川とその利用、そして利水または治水を意図した施設すべての監視のための技術的監督
- ・出水通報、雪崩警告、水質警告の各業務
- ・州の委託による利水または治水企画（主として給水および排水設備）の推進
- ・州の行政府が計画を実施するに当たって風景と環境景観に配慮し、自然と景観を保護する。新規景観工事手続に関連する検査
- ・州政府関係および非州政府関係の土木技術者の教育、試験、継続教育
- ・工事成績などの成績と建築または土木技師成績の承認および賃金または運送料、土木事業の割り振り
- ・土地収用法規
- ・水に関する法規、取水と河川に関する法規、河川保護法規、河川利用料に関する法務事例、水質を損なう物質の取扱についての法規、船舶航行と港に関する法規、水路法規、水および土地に関する組織体についての法規、鉱泉法規、ECおよびヨーロッパ理事会の環境法規

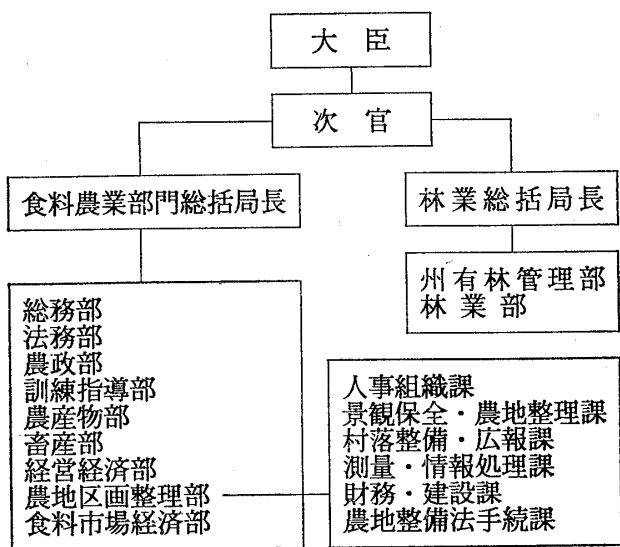


図-8 バイエルン州食料農林省の組織図¹³⁾
 Fig. 8 Organization of the Department of Food and Agriculture¹³⁾

人規模の職員を有し、測量、法律、農学、建築、景観保護の専門家などで構成されている¹³⁾。

ドイツの「多自然型川づくり」が、日本の場合と趣が異なるのは、河川や小川の自然の再生が、農地整備の一環としても行われていることである。ビオトープの創出や「多自然型川づくり」に関わる農地整備事業の目標は以下のようにまとめることができる。

- (イ) 換地によって農地を集積し、農道網の整備を行って、農業生産と労働条件の向上を図る
- (ロ) 農村と都市の生活水準の差をなくし、農村の価値を高め、過疎化を防ぐ
- (ハ) 農村環境の自然保護および景観保全を図る

(イ)と(ロ)に対しては、農地再編整備によって非農用地域を創出し、住宅用地、工業用地、レジャー用地を確保することを整備内容としている。

(ハ)については、農村環境を構成する土地、水、空気、動植物が、公害によって害なわれないようにするために、たとえば、農道をアスファルトあるいはコンクリートによって舗装する代わりに、自然石や穴あきブロックを敷き詰め、植生を生やす形式を適用したり、ビオトープを配置したり、暗渠化あるいはコンクリート三面張りを行った水路や河川を自然の状態に再生することなどが整備内容に盛り込まれている¹³⁾。

農村整備事業におけるビオトープの創出は、農地の中や農道沿いに小動物の棲息できる環境をつくることを目的としている。また、動物の移動が可能な空間を確保して、ビオトープが相互にネットワーク化することに狙いがある。

農村整備事業に対しては、連邦あるいは州が70~80%を補助し、受益者(個人、組合など)負担は30~20%である。この事業の大きな特徴は、自然保護および景観保全に関する整備については、連邦あるいは州が100%を補助し、その維持管理については、市町村あるいは受益者の負担となっていることである。ドイツにおいては、雑草の繁茂が少なく、補助金を出すほど管理の必要がないことが、その理由となっている。河川や小川の維持管理については、基本的に、州や自治体の負担となっている。

ドイツのバイエルン州では、図-9に示すように、国土計画、地域計画、都市計画、農村計画などの州全体の空間の形成に係わる計画体系をもっている。この空間整備の計画体系には、農業、建設などのすべての省庁が関係している。

ドイツの農村計画のなかで最も重要な法制度は、日本の土地改良法に相当する「農地整備法(1976年改正)」である。この農地整備法は、換地手法を基礎とし、図-9に示した空間整備計画体系のなかの「景観保全的付随計

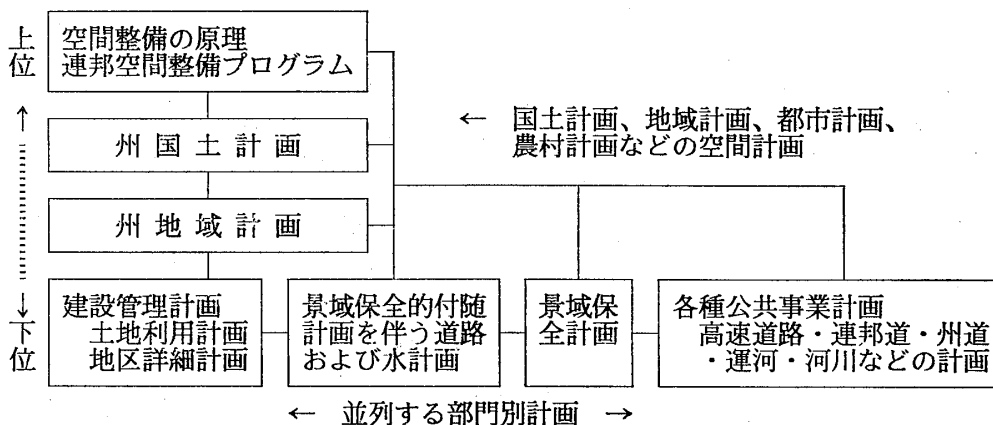


図-9 バイエルン州の空間整備計画の体系¹²⁾
 Fig. 9 Schematic diagram of the landscape improvement in Bayern¹²⁾

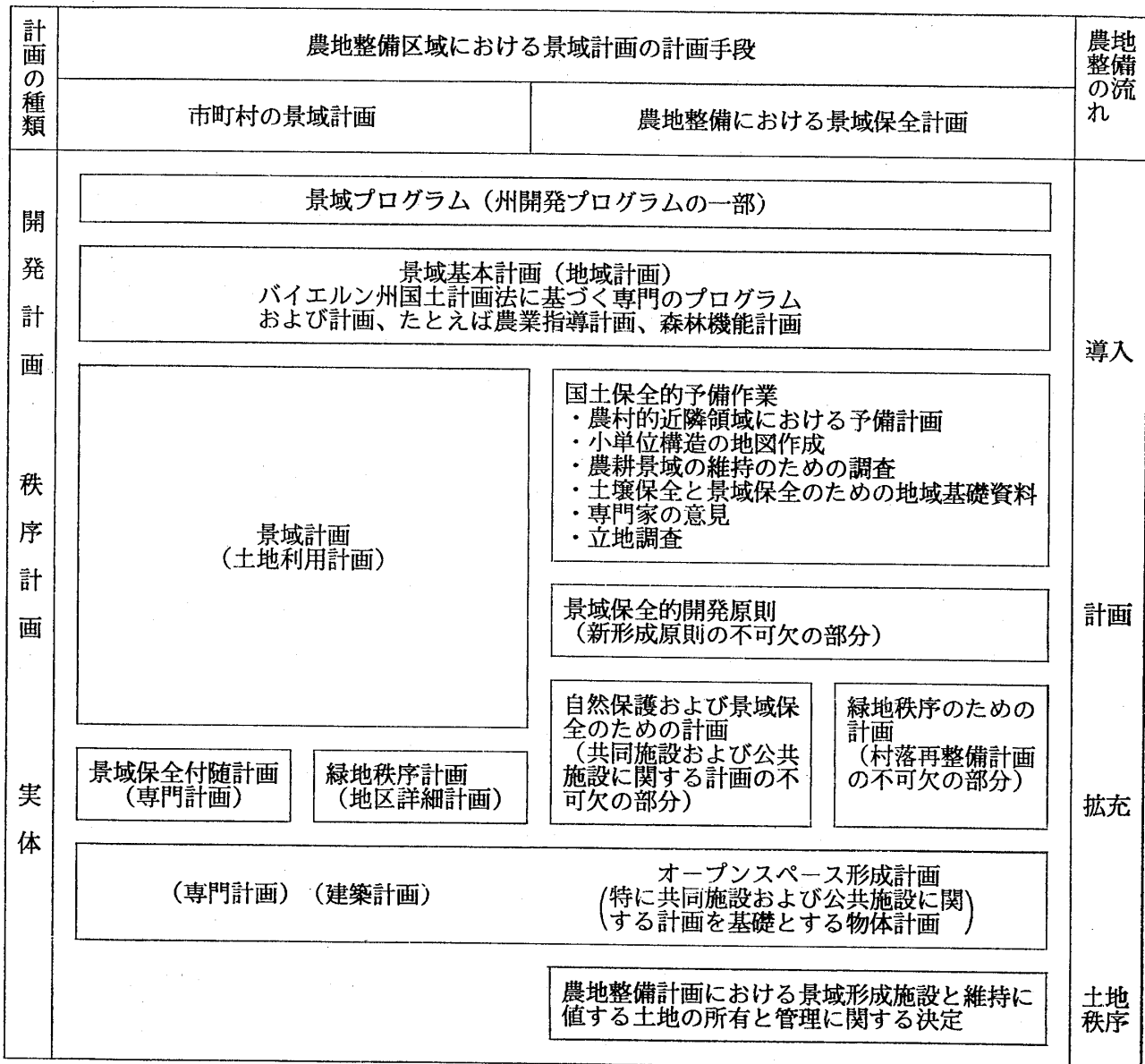
画を伴う道路および水計画」と他の「各種公共事業計画（たとえば、河川計画など）」の調整手続きを定めており、「多自然型川づくり」などの景域保全措置が効果的に機能できるような法制度になっている。また、「連邦自然保護法（1976年制定）」にもとづく「景観保全計画」が部門別に並列しており、自然保護区域の指定や開発規制などが盛り込まれている。

上記の法体系と諸計画のもとで、農地整備事業は、図一10に示す計画フローにしたがって作業が進められる。この計画フローは、日本の土地改良事業計画と類似しているが、「景域保全的付随計画を伴う」という特質をもっている¹²⁾。

食料農林省が中心となって行われる農地整備事業につ

いては、内務省建設総局（治水および利水）も深く関わりをもち、農村地域における治水および利水施設（排水、灌漑、養魚地、3級河川の処理と維持）の計画と建設に加わっている。

「多自然型川づくり」などの河川施設の整備を実際に推進するために必要な技術基準について、ドイツでは、治水・利水の技術基準として、日本における河川砂防技術基準（案）および河川管理施設等構造令と農林省の土地改良事業計画設計基準を併せたような内容の規則あるいは解説書が、DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. : ドイツ水資源・土地改良協会) によって刊行されている。この解説書（シリーズ）の中で、「多自然型川づくり」は、分冊番



図一10 バイエルン州の景域保全計画と農地整備計画のフロー¹²⁾

Fig. 10 Flowchart of the landscape preservation and agricultural land improvement system in Bayer n¹²⁾

表一七 治水事業と関連する法整備の推移¹⁵⁾
Table.7 Legislation affecting flood control project in Switzerland¹⁵⁾

1876年	森林に関する法
1877年	洪水対策に関する法
1966年	自然保護に関する法
1971年	水質汚濁に関する法
1977年	釣りに関する法
1979年	土地開発に関する法
1983年	環境保護に関する法

表一八 行政組織と役割分担¹⁵⁾
Table.8 Allocation of government roles in Switzerland.¹⁵⁾

組織	治水事業	利水事業
連邦政府 Federal Government	・プロジェクトの審査認可 ・補助金の交付	・監督
州政府(26州) Cantons	・基本計画、構想 ・関連市町村の調整 ・プロジェクト決定および実施 ・メンテナンス	・計画作成 ・実施主体
自治体 (3024自治体) Communities	・治水などのプロジェクトの発案あるいは要望	

号204 (1984年出版)の「河川の改修と維持における生態学的側面」にその詳細が記されている¹⁷⁾。

(2) スイス

スイスのすべての河川3,100の総延長は、約42,000kmで、そのうち主要な7河川の総延長は1,400kmに及ぶ。河川管理についてみると、1876年に発生した大水害を契機に河川建設法が制定され、その後、表一七に示すように、つぎつぎと治水に関する法律が整備された¹⁸⁾。さらに、以下に示すように州内河川を区分し、費用分担が決められている¹⁹⁾。

- ・クラス1の主要な河川と湖……州が改修計画の策定および実施にあたり、費用の2/3を負担。残りの1/3を地方自治体が負担。一部は関係する土地利用者および水利権所有者の負担
- ・クラス2の小さな湖および小河川と小川……改修は地方自治体。費用は関係する土地所有者および営業者が負担。ただし、公共性の高いものについては地方自治体の負担が1/3で、重要な工事は地方

自治体の全額負担で、改修計画の策定から実施まで受け持つ

治水事業における組織と役割分担は、表一八に示す通りである。

スイスの行政組織は、上位から連邦政府—州—地方自治体で構成されており、連邦政府内には洪水、利水、湖水の調節の責任を負う水利交通局がある。洪水対策については、個人やコンサルタントのプロポーザルによって地方自治体が事業申請を行うシステムをとっており、州はこれらの事業を検討し、必要であれば水埋実験をも行って、環境面および事業費を検討した上で、連邦政府の認可を求めることになっている¹⁵⁾。スイスの治水事業の特色としては、コンサルタントの果たす役割が大きく特に自然保護に重点が置かれていることである。

(3) オーストリア

基本的にはドイツやスイスと同じような行政組織、制度のもとに河川整備を行っている。

ザルツブルクの小河川では、市域の外側の上流部は州が工事を行っており、その負担は、国が60%、州が30%、市が10%の割合である。それぞれの自治体の負担能力や重要度に応じて、河川工事の財政負担が決められている。施工については、直営の作業員が実際の工事を担当しており、コンサルタントや重機オペレータなどの民間と共同の事業体制をとっている。

4 多自然型川づくりの考え方

4・1 多自然型川づくりの定義と考え方

ドイツにおける「多自然型川づくり」では、河川、湖沼などの陸水の総合的な保全を図る言葉として「水域保全計画 (Gewässerpflegeplan)」という言葉が使われている²⁰⁾。また、自然河川 (Natürliches Fließgewässer) に対して、自然とかけ離れた河川 (Naturfemes Fließgewässer) と、自然に近い河川 (Naturnahe Fließgewässer) という言葉で、それぞれ使い分けている場合もある (図一11参照)¹⁷⁾。

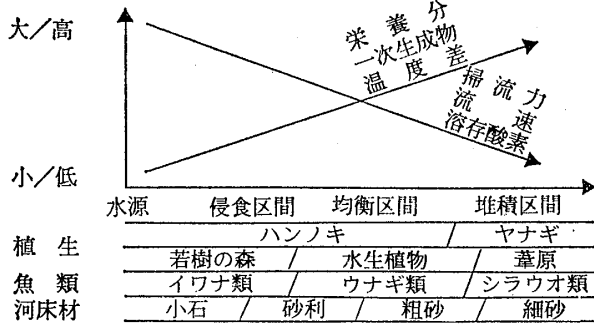
スイスのC. ゲルデイ氏により広められた近自然河川工法 (Naturnahe Wasserbau) という言葉に対して、日本では、「多自然型川づくり」という言葉が一般化している。この多自然型とは、ドイツ語では mehr Natur と訳し、英語の more に相当する。

Naturnahe と mehr Natur は、“あくまでも自然自身ではない”という意味¹⁸⁾において、両者の間に本質的な違いはないようである。

一方、オーストリアのザルツブルク市のアルターバッ

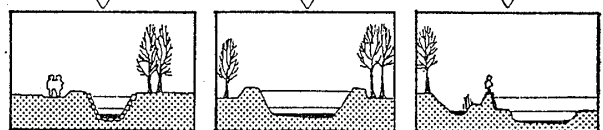
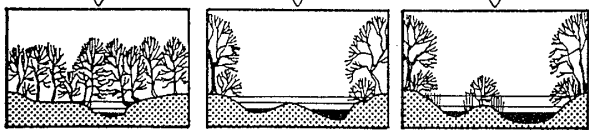
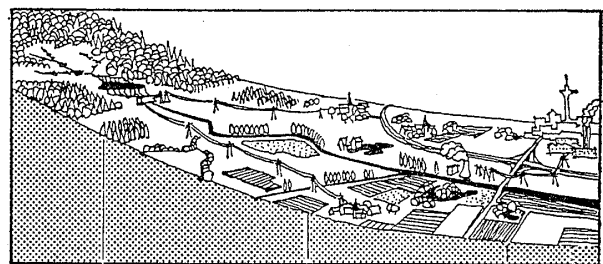
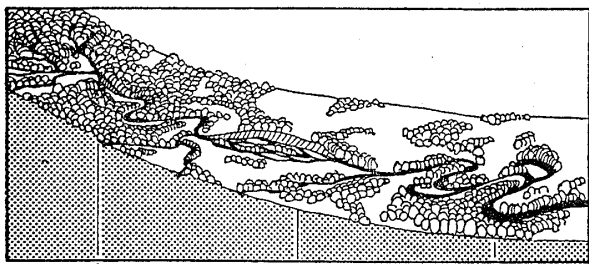
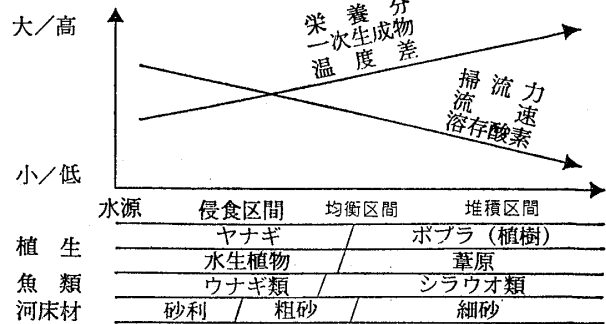
自然の河川 ⇔ (近自然の河川)

河川の図解 (ケスター(1977)とヒルダームス(1978)が手直し)



⇔ 自然からかけ離れた河川

河川の図解 (ケスター(1977)とヒルダームス(1978)が手直し)



上流

中流

下流

上流

中流

下流

図-11 ドイツにおける自然と河川の考え方の概念図¹⁷⁾

Fig. 11 Conceptual diagram of the relationship between nature and river in Germany¹⁷⁾

表-9 ドイツにおける「多自然型川づくり」の考え方²²⁾

Table.9 Policy toward nature-oriented river improvement in Germany²²⁾

<p>■河川およびその流域が担う役割</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 利水 (取水、貯水) ・ 流量調節機能 ・ 農地における環境保護 ・ 絶滅に瀕している生物群集 (動物・植物) に残された生息地 ・ ビオトープ ・ 農地における区画線 ・ 安らぎの空間 <p>■近自然工法の目的</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 河川を大切に保護し近自然的に保つ ・ 近自然状態にある河川にできるだけ人為的変更を加えず現状を維持する ・ 涸れ川を蘇生させ自然環境を復元する ・ 改修工事が不可避な場合、近自然的に実施する <p>■近自然工法の具体例</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 左右河岸非対称な横断面形態 (河流が破碎する側とおだやかに流れる側を作り出す) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 河床幅および水深に適宜変化をもたせる (狭塞部と拡張部、平瀬、浅瀬等) ・ 流速の速い箇所、遅い箇所をつくる ・ のり面勾配の緩急に変化をもたせる ・ 廃川、甌穴、露頭、急傾斜の河岸または浅瀬を保持ないし造成する ・ 魚の隠れ場所を維持ないし創出する (岩もしくは自然素材の設置) ・ 横工 (床固め、斜路工、階段工) ・ 縦工 (水制、導流工) ・ 河床ならびにのり面の補強 ・ 水陸が接触する地帯に多様性をもった環境を創出する ・ 「水生植物/湿地植物/林」という段階づけをもった植生を生み出す ・ 自然の素材を用いる (石、材木、生木、その他の生物を用いる) ・ 風土に適した植生の形成 ・ 流木の除去
--	--

表-10 スイスにおける「多自然型川づくり」の考え方²³⁾Table.10 Policy toward nature-oriented river improvement in Switzerland²³⁾

河川維持と自然保護のための基礎指針

1 原則

自然保護に配慮した河川保護は、生態学的見地から多くのことを実現可能とする。

- ・さまざまな傾向を持つ河岸の斜面、不均整な横断面、変りやすい川床幅
- ・遅い流れと速い流れとが連続する河川
- ・変化に富み、曲りくねった流路
- ・河川にとってふさわしい河岸の保全対策措置（岩塊の投入が絶対に必要である）
- ・建築材料としての植物の使用（自然保護的河川工法＝土木生物学）
- ・自然保護の観点から木本植物の管理、保護（集中的間伐以外の伐採の禁止）
- ・河川と隣接した土地の間への移行地帯の建設
- ・建設にあたって、すべての決壊や河岸の裂け目を避けること

必要な維持手段は、このように実施され、また、生物の多様性は河川を質的に高めることができる。

2 植生保護

2・1 全般

十分に完成され構成された木本植物地帯をもつ河川は、通常、その生態を維持するために何も必要としない。ただ、洪水時における管理、清掃作業（際立った被害についての評価、洪水原因の除去）、数年間の木本植物の育成だけで十分である。また、植物にとって必要な環境を維持し、その河川に順応させることが必要である。この際、これらを維持するために、全体の植物群の生活を妨げてはならない。以上のことを実施することによって、この河川工法は、河岸の安定や洪水に対する安全を永続的に保証することになる。

2・2 草原保護

河川斜面の木本植物地帯は、通常、毎年1回手入れされ、刈取られた草は洪水危険区域の外で土の材料として役立つ。これらの保護手段を実施する時期は、これらの植物の特性や、さまざまな植物にとって価値あるふさわしい場所（痩せた草原、湿地帯）を考慮しなければならない。原則的に、流水阻害を起すほど繁茂し過ぎた場所では、全体の1/4から1/3）程度の間伐を秋の始め、またはつぎの年に実施しなければならない。ただし、小動物の隠れ家をそのままにおかねばならない。自然保護的河川工法は草原にいろいろなことを克服するための能力を生じさせる。草原の発展およびその維持には、毎年定期的に入手れることが必要であり、その時期は草原の成長力に依存している。

2・3 木本植物保護

木本植物は、保護対策なしで自然の中で自由に成長させることが必要であるが、河川領域の植生においては特別な必要がある。それは、保護手段によって必要十分に増殖させ、また制限することである。それによって危険に打ち勝つことができるのである。間違った保護手段によっては、木本植物や河岸に被害を生じさせてしまう（たとえば、水に流されたり、冠水したりする）。木本植物は、河川の侵食領域の内側で、さまざまな機能を発揮する。

- ・古い木本植物の林では、若木を間伐することによって林を育成する（＝集中的間伐）。
- ・幹から発芽する強い若木を除去する。
- ・河川の流路に十分に根付くように保護しなければならない。
- ・河川付近の領域ではとくに黒ハンノキとヤナギが適しており、川底の下にまで根が成長する。
- ・水の流れを妨げる樹木や灌木は、伐採または除去する。
- ・安定性、保護作用、安全性をもたない木本植物の除去（河岸の水面下の樹木や斜めに生えている斜めに生えている樹木）。
- ・木本植物を永続的に残し成長させ、5～10年の間に、ときどき柳の挿し木も必要となる。
- ・木本植物の多様性を高めるため、森林から木を補充植林していく。
- ・侵食領域には、生物工学的に適した木本植物を植える。たとえば、黒ハンノキ、トネリコ、ウツミズザクラ、ヤナギ、ハシバミである。
- ・侵食領域以外では、適切な場所にその土地の灌木や樹木を使う。

すべての効果は短い期間で限定された岸の部分に現われる。取扱う場所に、手段に応じて、20～50mの長さの空間をそのままにしておき、動物に適切な環境を保存しておく。

2・4 川底の雑草

川底にある成長力の強い水生植物は、刈取るぐらいではその成長を抑制することはできない。浚渫や他の極端な駆除手段は、河川にとって生の代りに死を意味する。したがって、これらの方法は実施してはならない。木本植物の影で、日光を遮ったり、栄養物を除去することによって、これらの雑草の成長を弱めることができる。また、魚の漁期以外に刈取りをすることはできない。植物分布を考慮しながら、魚の避難場所として、川底の約1/4はそのままの姿を確保しておくことが必要である。

2・5 保護作業の時期

河川はたくさんの動植物種にとって重要な環境である。保護作業は、さまざまな期間において、これらの環境を害してしまう。制限なしの保護作業ができる季節はなく、したがって、計画を立て、すべての年にわたって作業を分割して行う。

表-10 (つづき)

Table.10 (Continued)

3 水流障害の除去

河川の水流を意のままにコントロールできないと障害を受けてしまうので、水流の障害を取り除かなければならない。障害物として、以下のものを除去する必要がある。

- ・引っ掛かって残っている流木
- ・引っ掛かって残っている廃物
- ・かさばった大きな木や灌木
- ・砂利の浅瀬

砂利の集積は、さまざまな河川の状態で見極める。原則的に水流障害ではないが、砂利の輸送距離が問題であるので、これらを動かせることが保証されなければならない。定期的に植物を除去することによって、砂利が固定し障害物となることを阻止することができる。河川には、漂石がとどまることによってできた堆積地帯があり、水流の横断面は、時間が経つにしたがって縮小する。被害を免れるためには、堆積物を定期的に除去することである。その際、元から生えていた雑草を川底に植えることが必要である。

- ・極端な方法は行わない。
- ・作業は魚の禁漁期以外に行われる。
- ・手付かずの部分の不規則的に残す。

4 自然保護的河川工法

4・1 計画

自然保護的河川工法によって、川床の被害を防止することができる。改修作業をする前に、河川をできるだけ清浄しておく。これらの作業は、極めて集中的に行うことができる。基本的問題は、以下のことである。

- ・何が危険であるか？
- ・河川にとって何をそのままにしておくことができるのか？
- ・どのようなことが必要であるか？

植物による工法には、以下のような長所がある。

- ・河川体系にとって、もっとも適応する。
- ・さまざまな障害にもかかわらず、活気のある群落を保つ。
- ・活気のない河川に、活力を取り戻させることができる。
- ・非常に活気のある河川を作りだし、それを維持していく。
- ・費用がかからず、そして、釣合のとれる維持ができる。
- ・材料や施工機械を工夫することによって、安いコストでできる。

植物による工法には、以下のような制限がある。

- ・適した植物種
- ・斜面の傾斜度
- ・実施する時期
- ・効果的な水深

4・2 工事材料

基礎材料は植物である。種（芝生、雑草）、根付きのよい木本植物（ヤナギ）、根付きのよい植物（先駆的木本植物）、植物群落（芝生ブロック）を投入する。その他に、さまざまな材料（たとえば、木材、石、針金、布地など）補助材料として使う。

4・3 適した木本植物種

木本植物において、その土地のヤナギは、自然保護的河川工法において、大きな意味をもっている。ヤナギの枝は、大きな成長力をもっているが、すべてのヤナギが同じように十分に根付くわけではない。細い葉をつけたヤナギを使い、幅の広い葉のヤナギは避ける。また、さまざまな根付きやすい森林植物で補い、場所や状態に応じて、種々の樹木や灌木種を使う。これは侵食領域の外で使うことができる。川岸の保全において、とくに適しているのは、黒ハンノキとトネリコである。

ハ川の例では、河川の再活性化措置 (Revitalisierungsmaßnahmen⁷⁾あるいは Renaturierung Fließgewässern²¹⁾)を意味する言葉が使われており、これは、汚れた都市河川を再生するという目的に符号している。また、アルターバッハ川では、ドイツやスイスと同じような工法が適用されているにもかかわらず、近自然工法という言葉をあえて使用していないようである。

(1) ドイツ

ドイツでは、歴史的にみて土木事業が農地整備と深く結びついている。したがって、治水事業や利水事業に見られる整備指針や技術基準は、農業土木の分野の中に包括されているともいえる。

DVWK (ドイツ水質源・土地改良協会) によって刊行されている治水および利水に関する技術基準としての規則あるいは解説書において、生態学 (分類627.4) と水工学 (分類574) に関する項目の中に、「多自然型川づく

り」の考え方が詳しく述べられている¹⁷⁾。また、河川構造物などの工事を実際に担当する内務省建設局によって、表一9に示すような内容の多自然型河川工法（近自然工法）の考え方が示されている²²⁾。

この考え方の中で特筆すべき点は、以下のとおりである。

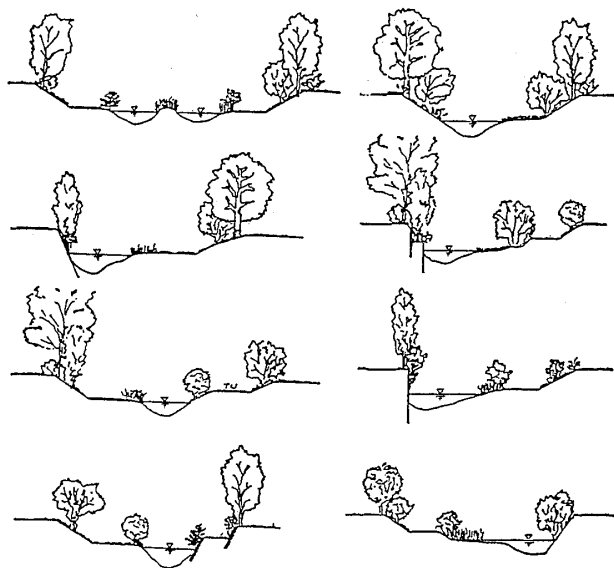
- ・河川および流域が担う役割として、「農地における環境保護」および「ビオトープ形成の場」が重要であることを明確に示している。
- ・近自然工法の目的については、改修工事が不可避な場合を除いて、現状の自然をできるだけ残すことが大切であることを述べている。
- ・具体的な工事においては、水と陸が接する水際の処理が重要であることを示している。

以上のように、ドイツの「多自然型川づくり」の考え方においては、単に川の中だけの河川工法というとはえかたではなく、生物の棲息環境を重視したビオトープの形成に重点をおいており、人間が手を加える必要がある範囲にのみ、多自然型河川工法（近自然工法）を用いることが重要であることを示唆している。

(2) スイス

スイスの「多自然型川づくり」の考え方は、チューリッヒ州河川保護工務局の資料に記されている（表一10参照²³⁾）。スイスでは、土木生物学の立場から植生の活用に重点を置いており、山地河川の特徴を考慮して、流水阻害に対する十分な維持管理の必要性を強調していることが特徴である。

(3) オーストリア



図一12 河川の再活性化に望ましい横断形状²⁾

Fig. 12 Sectional profiles for river revitalization²⁾

表一11 オーストリアの多自然型川づくりの考え方²⁾
(アルターバッハ川の再活性化措置)

Table. 11 Policy toward nature-oriented river improvement in Austria²⁾
(Revitalization in the Alterbach River)

■横断面形

- ・断面拡幅および水際部の平坦化（法面の緩傾斜化）を図る
- ・河床断面は幅と深さに変化をもたせる
- ・河床の目張りを撤去し、帯工あるいは堰を独立して設ける
- ・置き石の配置
- ・急傾斜護岸の整備
- ・緩傾斜護岸の過剰安定部の排除
- ・護岸の断面形状に変化をもたせる
- ・自然の素材を護岸構造に利用する
- ・植生は河川に適した種類を選ぶ

■縦断面形

- ・縦断勾配の単調さをなくす
- ・縦断方向の輪郭に変化を与える

■生態環境

- ・群生あるいは独立して生えている貴重な樹木の保存
- ・日陰を作るため、河岸の南面に樹木を植える
- ・灌木や樹木を水際まで植える
- ・水が入れ替わる範囲に植物を植える

■景観面

- ・水際線から法面までの傾斜を自然な形状にする
- ・横断面形状に変化をつける
- ・あらゆる一様性を排除する
- ・段差や堰の落差に変化をつける
- ・川沿いの歩道の間隔や高さに変化をつける
- ・歩道の舗装は避ける

■植栽計画の指標となる流量観測

- ・生態系に配慮した適切な植生密度や植栽種を検討するための指標として、水位～流量の頻度曲線ないし水位持続曲線が重要なパラメータとなる。

オーストリアについては、ザルツブルク市を流れる小河川アルターバッハ川を例にとり、その「多自然型川づくり」の考え方を示すと表一11のようになる。なお、再活性化に望ましい横断形状を図一12に、また、水位持続曲線と植生輪郭を図一13に示す。

この河川は、オーストリアにおけるモデル的な河川再生のケースとして、ウィーン農科大学ほかによって、学際的に調査・研究されたものである。整備方針においては、市街地を流れる都市小河川の再生について、その考

表-12 オーストリア (アルターバッハ川) の「多自然型川づくり」における植栽の計画と方針²⁴⁾

Table.12 Use of vegetation in nature-oriented river improvement in Austria²⁴⁾ (Revitalization in the Alterbach River)

■植栽の方針

- ・まず、全面にわたって自然な生え替わりや成長にまかせるという理想像を描いてみる。自然に近い植物構成を得るには、おそらくこの方法しかない。この方法は、治水上および時間的要素の関係から実施不可能と考えられるため、前もって人手を加えることによって、自然な植物構成ができるだけ急速に成長する手助けをしなければならぬ。多様な生物空間の再生は特に両棲域 (水域～陸域) にまたがって行うことが重要である。
- ・多様な生態系を構成する要素としては樹木、灌木、草、芝生、群生葦に分類されるが、これらを現地の条件に合わせて組み合わせればよい。

■植栽計画

★樹木 (中～高木)

- ・樹木は、許される断面によって、単独に植えることも、並木にすることも、また林にすることもできる。その主な役割は日陰を作ったり、水面を見渡せたりできるようにすることであり、またすでに説明したように、見た目に美しい形態的空間を構成することにある。ただしそれ以上に、根を張ることによる護岸の強化作用は見逃すことができず、また軽視することもできない。
- ・樹木 (中～高木) の植栽は以下の目安で行う。
 - ・水辺に用いるもの

しろやなぎ (<i>Salix alba</i>)	黒ハンノキ (<i>Alnus glutinosa</i>)
-----------------------------	----------------------------------
 - ・水辺の近くに用いるもの

くずれ柳 (<i>Salix fragilis</i>)	アメリカヤマナラシ (<i>Populus nigra</i>)
ポプラの一種 (<i>Populus tremula</i>)	
 - ・平均水位と高水位の間の範囲に用いるもの。

トネリコ (<i>Fraxinus exzelsior</i>)	カエデ (<i>Acer pseudo platanus</i>)
オーク (<i>Quercus robur</i>)	クマシデ属の一種 (<i>Carpinus betulua</i>)
 - ・高水位より上に用いるもの

エゾノウワミズザクラ (<i>Prunus padus</i>)	セイヨウミザクラ (<i>Sorbus aucuparis</i>)
------------------------------------	--------------------------------------

★灌木 (低木)

- ・灌木は基本的には平面状に広がった形で密生させるのではなく、むしろ、別の種類の飛来または発生を妨げないようにすることによって、望ましい形で自然に灌木の間が埋められるように計画することが重要である。樹木と異なりその種類の選択が、採用される土木生物学的工法に全面的に左右されることはない。たとえば、工法によって発芽可能な挿し木材料が必要とされていても、段状構造のところすでに根を張っている植物がある場合は不要である。灌木は平らな面での利用に加えて、大部分が自然な生え替わり成長にまかせるための最初の植え込みとしても用いられる。灌木植え込み部の働きとしては第1に河岸と護岸の安定化があり、部分的に日陰を作る働きもある。また、陸域と水域の漸移帯の緩衝部としての働きがあり、農業に使用される物質 (肥料や殺虫剤) に対するフィルタとしての働きをする。
- ・灌木 (低木) の植栽は以下の目安で行う。
 - ・水辺に用いるもの

アーモンド柳 (<i>Salix triandra</i>)	黒柳 (<i>Salix nigricans</i>)
紫柳 (<i>Salix purpurea</i>)	籠柳 (<i>Salix viminalis</i>)
 - ・水辺の近くに用いるもの

ヤマネコヤナギ (<i>Salix caprea</i>)	
---------------------------------	--
 - ・水面から離れた場所に用いるもの

ニワトコ属 (<i>Sambucua nigra</i>)	セイヨウニワトコ (<i>Sambucua racemosa</i>)
キイチゴ属 (<i>Rubus caesius</i>)	ハシバミ属 (<i>Corylus avellana</i>)
僧侶帽 (<i>Euonymus europaeus</i>)	ドッグローズ (<i>Rosa canina</i>)
赤ミズキ属 (<i>Cornus sanguinea</i>)	フラングラ (<i>Rhamnus frangula</i>)

★芝生

- ・芝生は緊急度 (早急な保護) にしたがってさまざまな方法 (通常の種蒔き、または噴霧種蒔き) で作成する。その働きとしてはまず、流路形態の上から重要な箇所 (侵食防止) がある。全体的に見通しまたは見晴らしが、重要な箇所では、土手の安定化と同時に河川形態的要素としての働きもある。

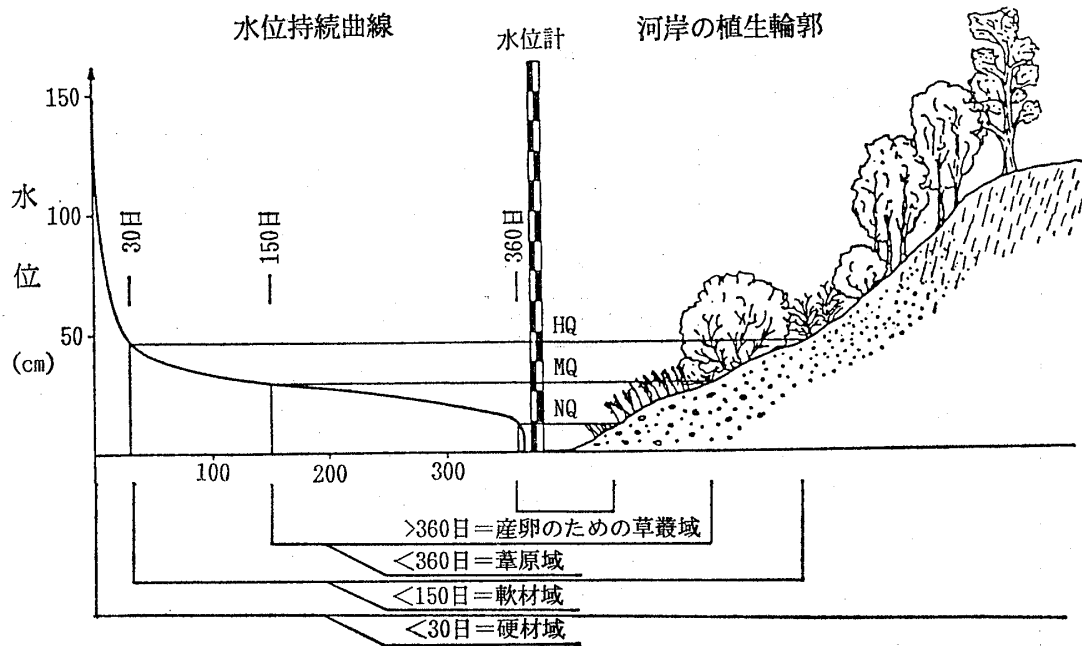


図-13 アルターバッハ川の水位持続曲線と植生輪郭⁷⁾

Fig. 13 Relation between stage-duration curve and profiles of vegetation in the Alterbach River⁷⁾

え方が詳しく示されている（ただし、ドイツの場合と異なり、ビオトープなどの広い空間は考えていない）。

整備方針の中でとくに参考となるのは、流量観測を綿密に行って、それに基づく植栽計画を実施していることである（表-12参照）²⁴⁾。

4・2 多自然型河川工法とその適用

(1) スイス

スイスの多自然型河川工法とその適用については、チューリッヒ州河川保護河川工事局の資料に記されている

表-13 スイスの多自然型河川工法と適用²³⁾

Table. 13 Nature-oriented river improvement methods in Switzerland²³⁾

整理番号	工法名	適用
S-1	灌木帯	河岸の固定、決壊防止
S-2	芝生ブロック	排水、下水溝、水位変動領域
S-3	挿し木	基礎緑化工事、排水、下水工事、杭打ち
S-4	編み垣植え	河岸における水流衝撃の緩和、水流抑制、河岸の地盤固定
S-5	決壊防止用編み柴	水流抑制、河岸基底部の保護、強化
S-6	河岸の基底部保護及び河岸の被覆	河岸における水流衝撃の緩和、侵食防止、傾斜1:1までに適用 牽引力：約50 N/m ² （完成時）、約150 N/m ² （5ヶ月後）
S-7	硬木植生と編み柴	水流制御、河岸基底部の保護・強化、河岸の亀裂防止
S-8	編み柴による被覆	決壊、河岸の亀裂防止
S-9	木材を用いた緑化護岸	河岸における水流衝撃の緩和、道路を支える張り出しの維持
S-10	緑化ブロック	河岸における水流衝撃の緩和、道路を支える張り出しの維持
S-11	灌木を使った格子状工	河岸の決壊と亀裂防止

表-14 オーストリア（アルターバッハ川）の多自然型河川工法と適用²⁵⁾Table.14 Nature-oriented river improvement methods in Austria²⁵⁾
(Revitalization in the River Alterbach)

整理番号	工 法 名	適 用
A-1	石築き	土手斜面の負担が大きく、傾斜が1:2以上の場合。土手斜面にかかる負荷が特殊な護岸(上縁が道路)および水衝部の護岸に適用
A-2	段畑式構造の表土 (覆土緑化工法)	既存の石積みの上に盛り土して、土手斜面を平にする場合に適用
A-3	挿木用杭の打込み(既設 護岸の緑化・補強工法)	石積み後に杭挿し木を行なう場合、および河岸に雑木域を急速に作る場合に適用
A-4	散在石による安定化と芝生 マット補強の組合せ (床石張りとは覆土緑化工法 の組合せ)	平均水位線より上の河床保護、護岸法面の保護と安定化
A-5	枝木柵(粗朶敷工)	土手斜面および平均水位より上の河床域の保護に適用
A-6	石積み水制	MQ(平均流量)以下の流れの疎通断面を絞る場合、負荷が高い河岸の安定化を妥当な場所の範囲内で行なう場合に適応
A-7	灌木敷き水制	平均的な負荷がかかる河岸の安定化に適用される。MQ(平均流量)以下の疎通断面を削減する場合に適用
A-8	突起を設けた流路工 (自然石帯工)	長手方向に展開可能な場合の急峻な河道区間に適用
A-9	深部水底安定化 (深い基礎工)	河岸外壁沿いまたは堰斜面ないし水門の底水部などで、洗掘の危険が高くなった場合に適用
A-10	筒状ないし球状の葦の植 込み、葦根茎植込み (葦を用いた法留工)	平均水位時の波打ち際を、緩い水流による侵食から守る。淀みや水衝部の河岸保護
A-11	粗朶束 (粗朶を用いた法留工)	表面を覆うための土木生物学的な手法との組合せで土手斜面基部保護のためによく用いられる
A-12	置き石	流れがあまりに静かな場合に横方向の流れを起こさせ、河岸輪郭を意図的に不規則にする
A-13	板柵工	余裕の無い場所や、河岸侵食が激しく水深が深い場合に適用
A-14	石積み護岸	河岸の急傾斜部と傾斜の急な土手傾斜部の保護に適用
A-15	植生保護用木組護岸	傾斜の急な土手斜面の保護、また土手斜面の滑り落ちの予防にもなる
A-16	ふとん籠護岸	傾斜の急な河岸の施工と保護に適用される
A-17	木組護岸	急傾斜河岸の補強と保護に適用される
A-18	段畑構造(植生護岸)	斜面テラスの働きにより土手斜面の保護と安定化が可能である。植え込み段には、類似した土壌による植え込みができる。盛り土部への植え込み(後から植え込むと成績が悪く高つく)に適用される
A-19	芝生マットの補強 (植生による法護岸)	侵食の危険がある地面を迅速に保護することができる

※ 工法名は、ドイツ語の直訳と図や解説文に基づいて意味を損ねない範囲で分かり易い表現に直してある

(表一13参照)²³⁾。なお、工法の使用に当っては、マニュアルとして使わずに、基本概念として理解する必要があるとの但書きとなっている。

スイスの多自然型河川工法の特徴は、ヤナギなどの植生を使った河岸の保護に重点が置かれていることで、その適用に対しては、河岸侵食に関して留意している点である。

(2) オーストリア

オーストリアのザルツブルク市内を流れる小河川アルターバッハ川では、河川の再活性化のためウィーン農科大学ほかによる学際的な調査・研究の過程において、河

川整備の工法集をまとめている²⁵⁾。工法の適用については、州全体について統一化あるいは規格化されたものではなく、アルターバッハ川のみを対象としたものである。

アルターバッハ川の多自然型河川工法の特徴は、自然石やヤナギを中心として河岸の多様性をもたせることに重点を置くとともに、水衝部や土地の制約など、現場の条件に適合できるようにきめ細かな工法を呈示している点である(表一14参照)。

4・3 多自然型河川工法の分類

表一13および表一14に示したスイスおよびオーストリ

表一15 多自然型河川工法の治水機能による分類

Table.15 Type of nature-oriented river improvement methods based on flood control function in Switzerland and Austria

I 護岸工	
I-a	植生護岸 ----- 植込み、張り芝、挿し木、柳枝工などの植生のみを使った護岸(7工法) <ul style="list-style-type: none"> ・植込み: 灌木帯(S-1)、段畑式構造(A-18) ・張り芝: 芝生ブロック(S-2) ・挿し木: 挿し木(S-3)、挿し木用杭の打込み(A-3) ・柳枝工: 河岸の基底部保護及び河岸の被覆(S-6)、枝木柵(A-5)
I-b	自然石護岸 ----- 自然石を用いて植生マットや覆土、挿し木等で、I-aをより強化した護岸(5工法) <ul style="list-style-type: none"> ・自然石: 石築き(A-1) ・自然石+植生: 緑化ブロック(S-10)、 ・自然石+覆土: 段畑構造の表土(A-2)、芝生マットの補強(A-19) 散在石保護と芝生マット補強の組合せ(A-4)
I-c	直立護岸 ----- 特殊な例として、平均水位より上にある法面(直立護岸や高水護岸)に対して、空隙をもつ空石積みや木枠に植生を組み入れた護岸(3工法) <ul style="list-style-type: none"> ・石積み護岸(A-14) ・植生保護用木組護岸(A-15) ・木組護岸(A-17)
II 法留めおよび根固め工(流水に対する護岸法先の簡易な洗掘対策、法留めとしての機能が大きい)	
II-a	植生(主に柳)を使った簡易な法留めと洗掘対策(4工法) <ul style="list-style-type: none"> ・決壊防止用編み柴(S-5)、硬木植生と編み柴(S-7)、粗朶束(A-11) ・束状ないし球状の葦の受け込み、葦根茎植込み(A-10)
II-b	板や木杭など木材を使った簡易な法留めと洗掘対策(3工法) <ul style="list-style-type: none"> ・編み垣植え(S-4)、板柵工(A-13)、木材を使った緑化護岸(S-9)
II-c	石を使った簡易な法留めと洗掘対策(2工法) <ul style="list-style-type: none"> ・ふとん籠護岸(A-16)、深部水底安定化(A-9)
II-d	編み柴や灌木を用いて層状あるいは格子状に護岸法先を保護した工法で、根固め工に近い機能をもつ(2工法) <ul style="list-style-type: none"> ・編み柴による枝被覆(S-8)、灌木を使った格子状工(S-11)
III 流水に変化を与え生物の棲息環境の創出をねらった工法	
III-a	捨て石を河床に埋め流水に変化を与え、生物の棲息空間を創出する(2工法) <ul style="list-style-type: none"> ・突起を設けた流路工(A-8)、置き石(A-12)
III-b	止水域を設けるためのやや水制に近い機能をもつ石出し(2工法) <ul style="list-style-type: none"> ・石積み水制(A-6)、灌木敷き水制(A-7)

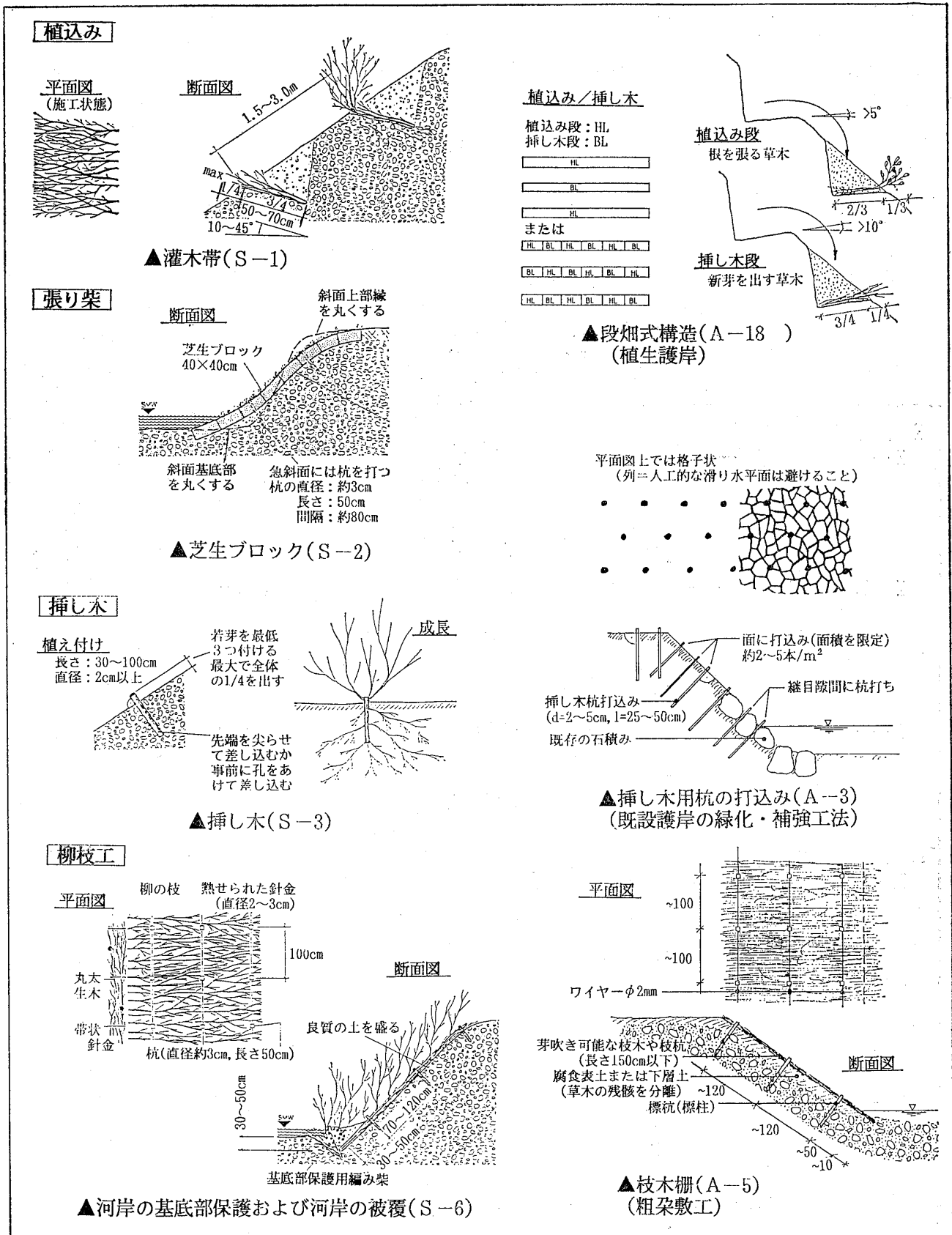
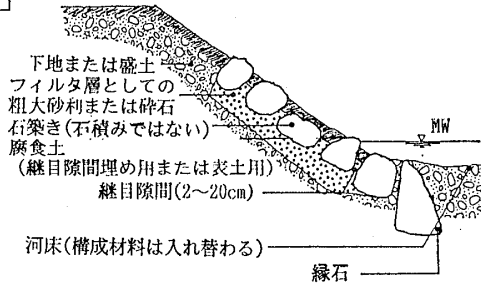


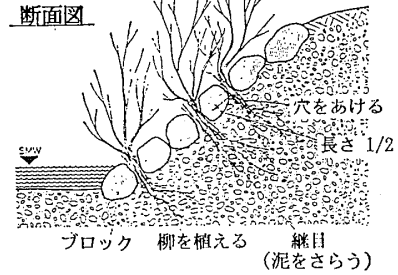
図-14 植込み, 張り芝, 挿し木, 柳枝工などの植生護岸 (I-a)^{23), 25)}
 Fig.14 Vegetative bank protection using thickets, turfing, cutting plants and willows (I-a)^{23), 25)}

自然石



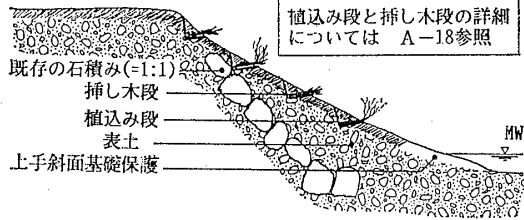
▲石築き(A-1)

自然石+植生

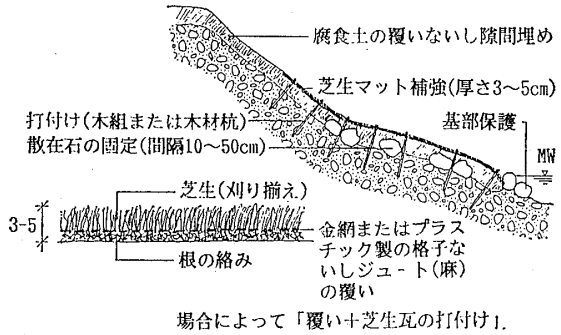


▲緑化ブロック(S-10)

自然石+覆土

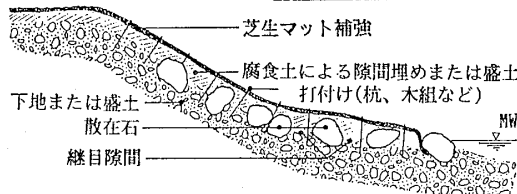


▲段畑式構造の表土(A-2)
(覆土緑化工法)



▲芝生マットの補強(A-19)
(植生による法覆工)

芝生マット補強については A-19参照



▲散在石保護と芝生マット補強の組合せ(A-4)
(空石張り+覆工緑化工法の組合せ)

図-15 自然石と植生マットや覆土、挿し木などで、(I-a)をより強化した護岸(I-b)^{23) 25)}
Fig.15 Vegetative bank fortification methods (I-a) using stone, vegetative matting, fill and cutting (I-b)^{23) 25)}

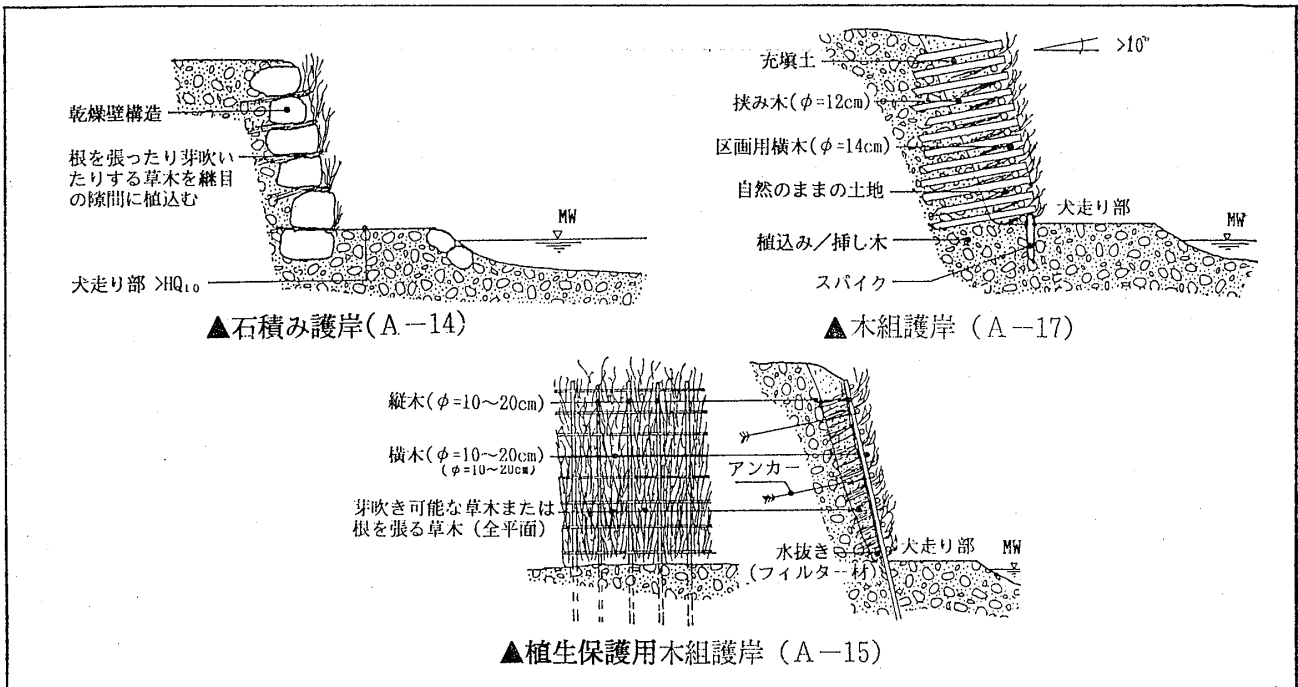


図-16 平均水位より上にある護岸法面に対して空石積みや木枠と植生を組み合わせた護岸 (I-c)^{23), 25)}
 Fig.16 Above-water-level bank protection method using combination of masonry retaining wall or wooden frame with plants (I-c)^{23), 25)}

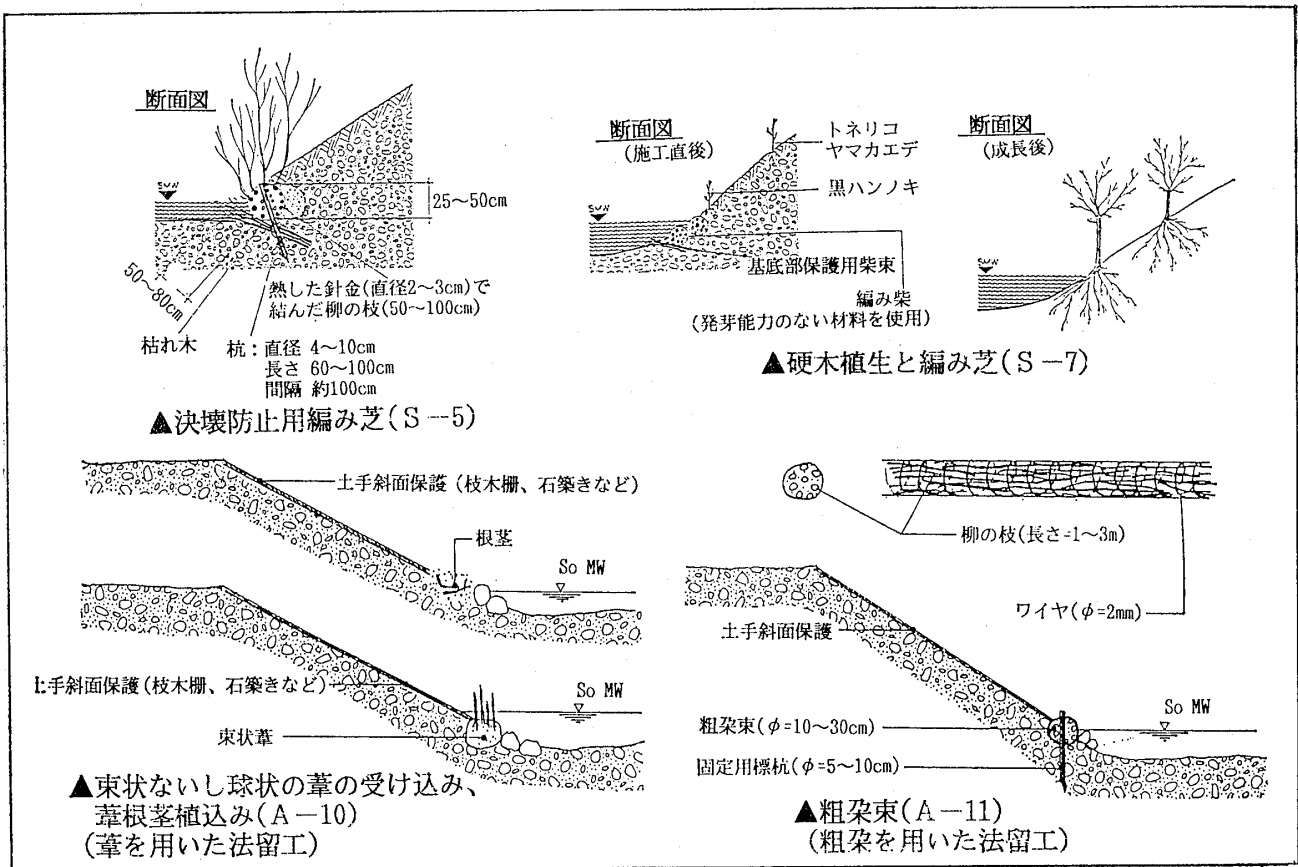


図-17 植生(主に柳)を用いた簡易な法留めと洗掘対策 (II-a)^{23), 25)}
 Fig.17 Simple method of toe protection and anti-scouring measure using plants (mostly willows) (II-a)^{23), 25)}

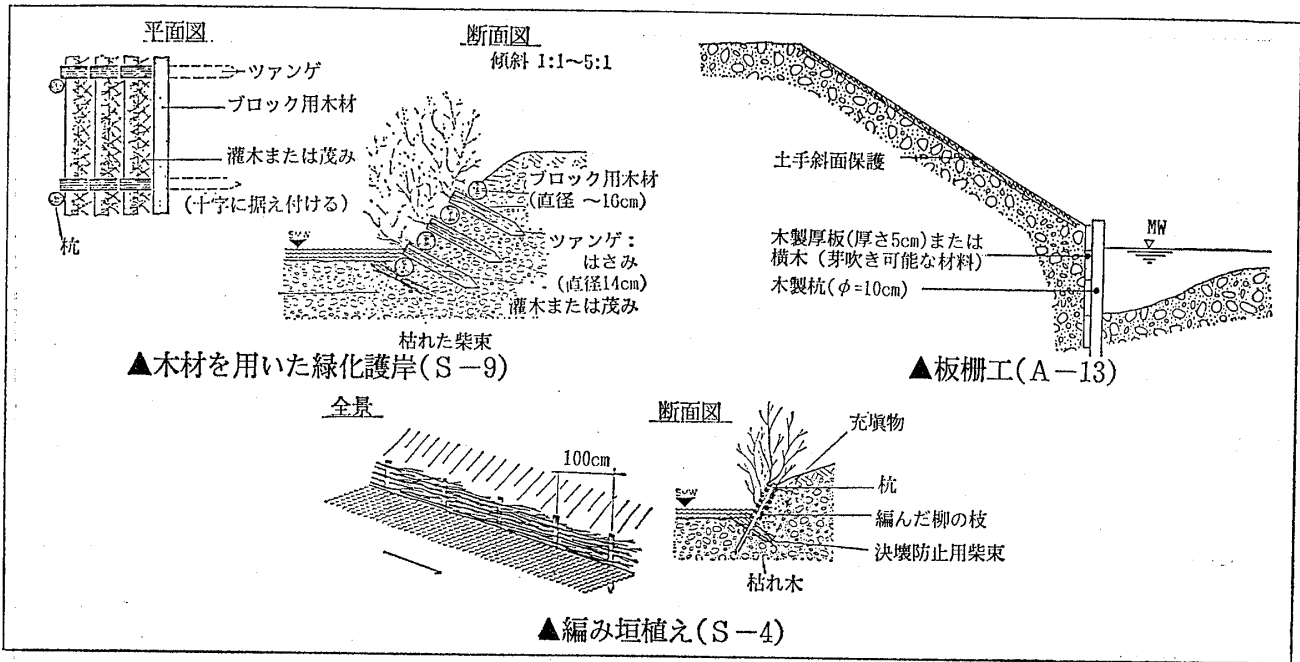


図-18 板や木杭など木材を用いた簡易な法留めと洗掘対策 (II-b)^{23), 25)}

Fig. 18 Simple method of toe protection and anti-scouring measure using board, wooden pile, wooden material (II-b)

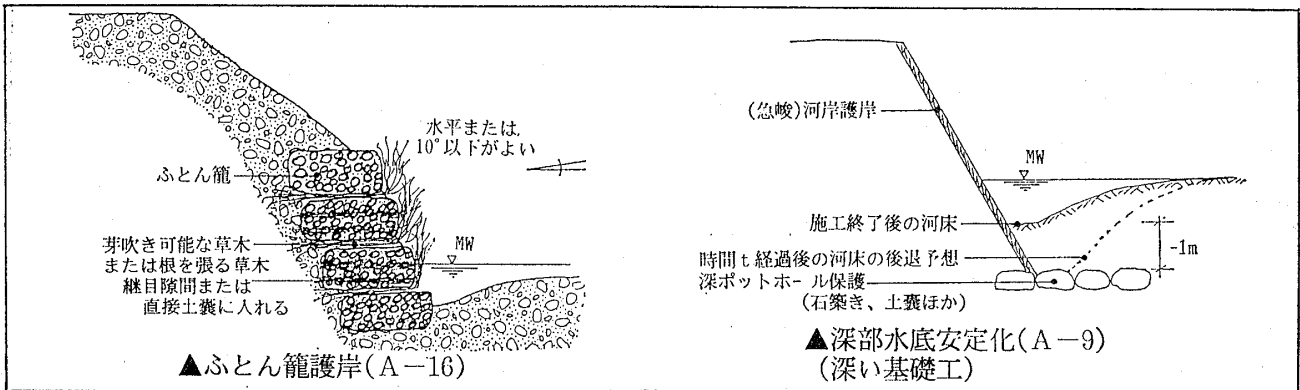


図-19 石を用いた簡易な法留めと洗掘対策 (II-c)^{23), 25)}

Fig. 19 Simple method of toe protection and anti-scouring measure using stone (II-c)^{23), 25)}

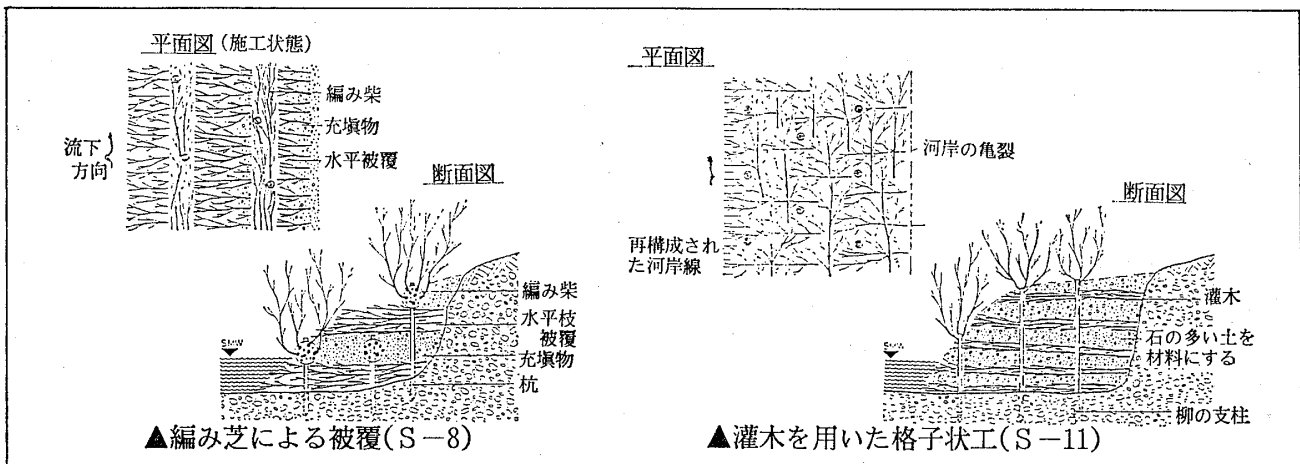


図-20 編み柴や灌木を用いて層状あるいは格子状に護岸法先を保護した、根固め工に近い工法 (II-d)^{23), 25)}

Fig. 20 Foot protection work using combination of stratified or latticed fascine net and brushwood (II-d)^{23), 25)}

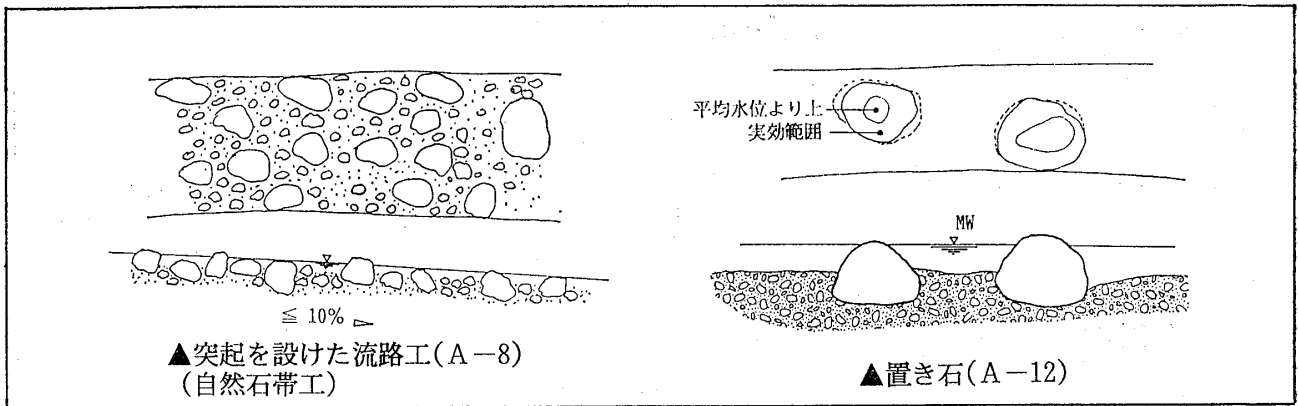


図-21 捨て石を河床に埋め流水に変化を与え、生物の棲息空間を創出する工法 (III-a)^{23),25)}
 Fig.21 Riprap work on river bed providing territory for aquatic life and creating stream (III-a)^{23),25)}

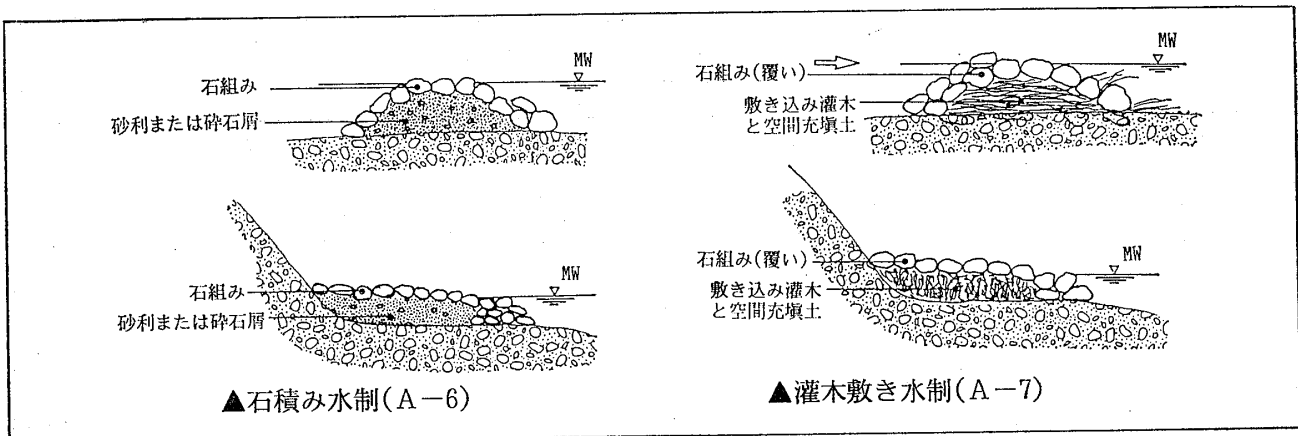


図-22 止水域を設けるためのやや水制に近い機能をもつ石出し (III-b)^{23),25)}
 Fig.22 Stone jetty to maintain water stillness (III-b)^{23),25)}

アの代表的な多自然型河川工法30種類について、それらの治水機能や適用、材料などに関して分類・整理して示すと、つぎのようになる。

(1) 治水上の機能による分類

治水上の機能という観点からみると、つぎの3つのグループに分けることができる。

- I 法覆工を中心とした護岸工 (15工法)
- II 法留めおよび根固め工 (11工法)
- III 帯工、水制など、流水に変化を与え生物の棲息環境の創出をねらった工法 (4工法)

これらの工法は、流水の外力の大きさ、施工場所の種々の条件、景観などに応じて、材料(石材、植生)によって、さらに細かく分類することができる。表-15にその結果を示す。この細分類にしたがって各工法の内容を図-14~図-22に示す。

● 用途別分類

治水機能から見た場合の各工法をその用途、法句配、使用法(厳密な区分が困難な場合は重複している)にしたがって分類整理すると、表-16に示すようになる。

各工法には、他の工法に含まれている工法例に類似したものを含むことが多く、土地の制約などによる護岸の法句配の変化、流水などの外力や河川形状あるいは適用する場所に応じて、各工法を組み合わせたり、主工法と補助工法の使い分けをするなど、多様な水辺空間の創出に役立つ工法が考えられている。

(3) 材料別分類

表-13および表-14に示した多自然型河川工法において、使用されている材料は、石、砂利、土、挿し木、粗朶、木杭、板、芝生、葦などを主とし、これらのほかに補助材料として、麻のネットや金網などが用いられている。使用材料を工法別に整理すると、表-17に示すようになる。

スイスでは植生を用いた工法が多いのに対して、オーストリアのアルターバッハ川においては、自然石(多孔質な不定形な礫岩など)を多用しているという特色を示している。

中部ヨーロッパでは、アルプスなど山岳地帯に近いために、材料の入手が容易な自然石が護岸に多く使われて

表-16 多自然型河川工法の用途別分類
 Table.16 Types of nature-oriented river improvement methods
 based on utilization in Switzerland and Austria

国	工法番号	用途別分類						法勾配			使用法		備考
		護岸工			水制工	帯工	その他	直立	2割以上	2割以下	主工法	補助工法	
		法覆工	根留工	制固工									
スイス	S-1	●							●		●	A-18と近似	
	S-2	●							●	●			
	S-3	●							●		●	A-3と近似	
	S-4		●					●	●	●	●	A-15、A-17と近似	
	S-5		●	●			-	-	-		●		
	S-6	●	●					●	●	●		A-5と近似	
	S-7			●			-	-	-	●	●	A-10、A-11と近似	
	S-8	●	●	●			-	-	-	●			
	S-9	●	●	●				●	●			A-17と近似	
	S-10	●							●			A-1、A-2と近似	
	S-11			●			-	-	-			S-8と近似	
オーストリア	A-1	●	●					●		●			
	A-2	●							●	●		A-18を併用	
	A-3	●	●						●	●	●		
	A-4	●	●						●	●		A-19を併用	
	A-5	●	●						●	●			
	A-6			●	●		-	-	-	●			
	A-7			●	●		-	-	-	●			
	A-8					●	●	-	-	-	●		
	A-9		●	●				●	●			●	
	A-10		●	●					●	●		●	水衝部、淀み
	A-11		●						●	●		●	
	A-12						●	-	-	-		●	
	A-13		●						●			●	
	A-14	●						●			●		
	A-15	●						●	●		●		アンカー使用
	A-16	●	●					●			●		
	A-17	●						●	●		●		
	A-18	●								●		●	他工法と併用
	A-19	●										●	他工法と併用

表-17 多自然型河川工法の使用材料

Table.17 Types of nature-oriented river improvement methods based on material used in Switzerland and Austria

国	工法番号	石	砂利	土	挿し木	粗朶	木杭	板	芝生	葦	その他
ス イ ス	S-1				●						
	S-2						●		●		
	S-3				●						
	S-4				●						
	S-5				●	●	●				針金
	S-6				●	●	●				
	S-7				●	●					
	S-8		●	●	●	●	●				
	S-9					●	●				
	S-10	●			●						
	S-11		●	●	●	●					
オ ー ス ト リ ア	A-1	●	●	●							
	A-2			●	●	●					
	A-3				●						
	A-4	●		●	●				●		麻のネット
	A-5			●	●	●					ワイヤー
	A-6	●	●								
	A-7	●				●					
	A-8	●									
	A-9	●									土嚢
	A-10				●					●	金網
	A-11				●	●					ワイヤー
	A-12	●									
	A-13						●	●			
	A-14	●		●		●					
	A-15			●		●	●				アンカー
	A-16		●	●		●					籠
	A-17			●		●	●				
	A-18			●	●	●					
	A-19								●		麻のネット

表-18 多自然型河川工法の維持管理^{23), 25)}Table.18 Maintenance of nature-oriented river improvement methods in Switzerland and Austria^{23), 25)}

国	工法番号	維持管理
オ ス ト リ ア	A-1	不要である
	A-2	美観維持と新芽を出すための剪定、漂着物除去が必要。植え込み段と挿し木段の詳細についてはA-18を参照
	A-3	美観維持と新芽を出すための剪定、漂着物除去が必要である
	A-4	芝刈り、除草、土ほぐし、通気が必要である
	A-5	定期的な剪定は4~10年おき、通路の剪定は3年おきとなる
	A-6	不要である
	A-7	生木の構造要素と非植物性構造要素の間に結合が生じるまでの初期段階の管理が必要である
	A-8	基本的には不要である。出水後の管理と損傷時の復旧が必要となる
	A-9	不要である。
	A-10	刈り込み、漂着物除去が必要である。
	A-11	不要である。
	A-12	場合により木材を保護する（できれば生物学的に）。損傷箇所について定期点検が必要である。
	A-13	美観維持と新芽を出すための剪定によりそだ東に弾力性を保たせ、中を水が流れるようにする。漂着物除去。
	A-14	美観維持と新芽を出すための剪定が必要となる。
	A-15	美観維持および新芽を吹かせるための剪定、出水後の清掃（漂着物除去）が必要となる。
	A-16	美観維持と新芽を出すための剪定、漂着物除去が必要となる。
	A-17	美観維持と新芽を出させるための剪定、漂着物除去が必要となる。
	A-18	美観維持と新芽を出させるための剪定、漂着物除去が必要となる。
	A-19	刈り揃えおよび除草により古い芝生の若返り、エアレーション、通気が必要となる
ス イ ス	個々の工法に対する維持管理の方針は示されていない	<ul style="list-style-type: none"> ・洪水時における管理、清掃作業が必要で、侵食破壊された場所、洪水原因となる植生に対して、基本的には植生の管理が必要となる ・岸の木本は、通常、毎年1回手入れが必要で、手入れの時期は、植物の特性や場の条件を考慮して決める。異常に繁茂したような地区の一部については、秋の始めまたは次の年に刈り取る必要がある ・古い木本植物の林では、若木を間伐することによって林を育成する（=集中的間伐）ことが必要で、幹から発芽する強い若木を除去する ・水辺の木本植物は、河川の流路に十分に根付くように保護しなければならない。但し、水の流れを妨げる灌木は、伐採または除去する必要がある ・草本については、毎年定期的に手入れすることが必要で、その時期は草原の成長によって決める ・河川の水の流れを意のままにコントロールできないと障害を受けてしまうので、水流の障害（流木、廃棄物、灌木、砂利など）を必要に応じて取り除かなければならない

いる。しかし、「多自然型川づくり」においては、自然石の役割はそれほど大きくなく、治水上必要とされる場所に限定され、それ以外の場所ではできる限り柳などの挿し木や粗朶などの材料を使うようにしている。

(4) 維持管理

表一18は、「多自然型川づくり」における維持管理について、オーストリアに関しては各工法ごとに、スイスに関しては全体の基本的考え方をまとめたものである。

工法の材料として石のみを使ったもの以外は、基本的には、植生に対する剪定や刈り込みなどによる維持管理対策が必要となる。

この場合の維持管理の主要な目的は、ヤナギなどが繁茂し過ぎることによる流水阻害と景観上見苦しくなることを避けることにある。また、植生を健全に成長させることによって植生の活着を促し、治水上は、流水による外力に対する護岸や根固めとしての機能や強度を維持することにも寄与している。

「多自然型川づくり」においては、水際を多様な構造とし、植生で覆うことが基本となるが、その弱点は出水時における漂着物であり、これらの漂着物の除去は、植生の維持管理とともに大切なことである。したがって、これらの漂着物を定期的に除去することが必要である。

以上のように、ヨーロッパの「多自然型川づくり」においては、維持管理に十分な配慮がなされているが、日本に較べて植生の成長がそれほど活発でないこともあって、これらの管理は必要な箇所に限定され、それほどの手間を掛けていないようである。また、維持管理のシステムにおいて、オーストリアのように行政府が直営の作業員を抱えており、必要な箇所を適宜発見して、自分の庭のようにすばやい対応がとれることも見逃せない。

4・4 整備事例

河川の自然の回復を目的とする「多自然型川づくり」は、これまでの治水上の制約の上に、生物の棲息環境や景観などへの配慮が必要となるため、河道断面を大きくしたり、従来の河道よりも広い用地が必要となる。

山の多いオーストリアやスイスでは、土地に対する制約が大きいこともあって、どちらかといえば、河道内の自然回復に重点が置かれている。一方、ドイツでは大規模な農地造成によって、林、湿地などの消失と河川や小川の直線化が進み自然が失われたために、その反省の上から、農地整備の一環として、河川区域を可能な限り広げてビオトープの再生を図るとともに、流域全体をとらえた面的な整備の中で、河川や小川の自然な復元が進められている。

具体的には、用地買収あるいは耕地整理などで、河川周辺に土地を確保すること、それまで放置されていた旧河道や三日月湖などを河川と一体的に整備することによって、治水上の遊水地的な効果をもたせること、また、堤内地の緑とのネットワークを図ることなどである。

本節では、「多自然型川づくり」の整備事例として、主に河道内の整備に重点を置いたオーストリアのアルターバッハ川と、堤内地を含めた河川生態系の創出（ビオトープなどの創出）に留意しているドイツのバイエルン州の事例を以下に示す。

(1) オーストリアのザルツブルク市のアルターバッハ川

アルターバッハ川は、オーストリアのザルツブルク市内を貫流する流域面積 30.2km²、計画高水流域 103.5m³/s（年超過確率 1/100）、平均流量 0.15m³/s の小河川である。この河川は、過去の画一化した河川整備によって、生態環境上および景観上、自然とかけ離れた河川であったが、1986年より再活性化を目指して「多自然型川づくり」に着手している。整備計画においては、特に綿密な観測水位データにもとづく植栽計画、横断計画を提案していることが注目される（図一23参照）。

(2) ドイツのバイエルン州のエーガー川

エーガー川は、バイエルン州西部のネルトリンゲン市の郊外の田園地帯を流れる流域面積 164km²、計画高水流量 135m³/s（年超過確率 1/100）、平均流量 0.5m³/s の 2 級河川である。この河川は、1950年代に改修が終了しているが、ビオトープの創出のため 1985年から 1986年にかけて、残置している旧河道（河川用地）と周辺の農耕地（用地買収）を合わせて、生態に配慮した河川改修工事を実施した（図一24参照）。この改修工事の目的は、

- 1 水生、両生、陸生の生物環境において立地の多様性を創出すること
- 2 河岸帯および水と陸が接する地帯を拡大することであった。

(3) ドイツのバイエルン州のケスナッハ川

ケスナッハ川は、ドナウ川の支川で、バイエルン州東部のレーゲンスブルク市の東方を流れている流域面積が 74km²、計画高水流量 64m³/s（年超過確率 1/100）、年平均流量 1.35m³/s の 3 級河川である。改修前には、この河川とそれを含む一帯は農地として転用されており、河川は直線化した水路となっていた。本改修では、堤内地の周辺に分布する湿地や池と河川を相互に連結し、水と緑のネットワークを創出することを目的として実施された。河道を開削することによって、生物にとっては多様な棲息空間である中州、水溜まり、浅瀬などの確保さ

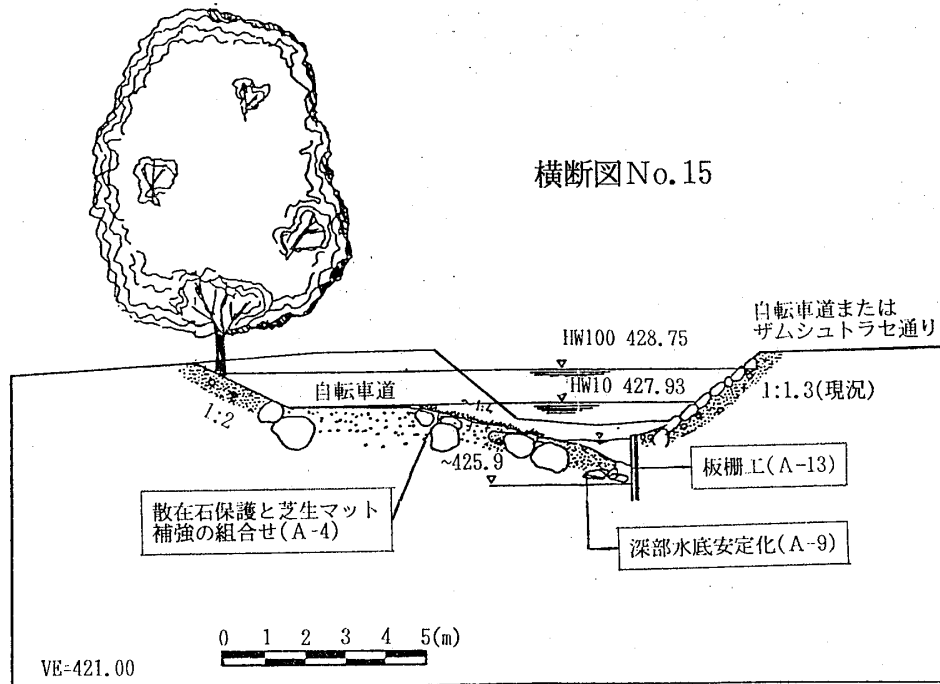
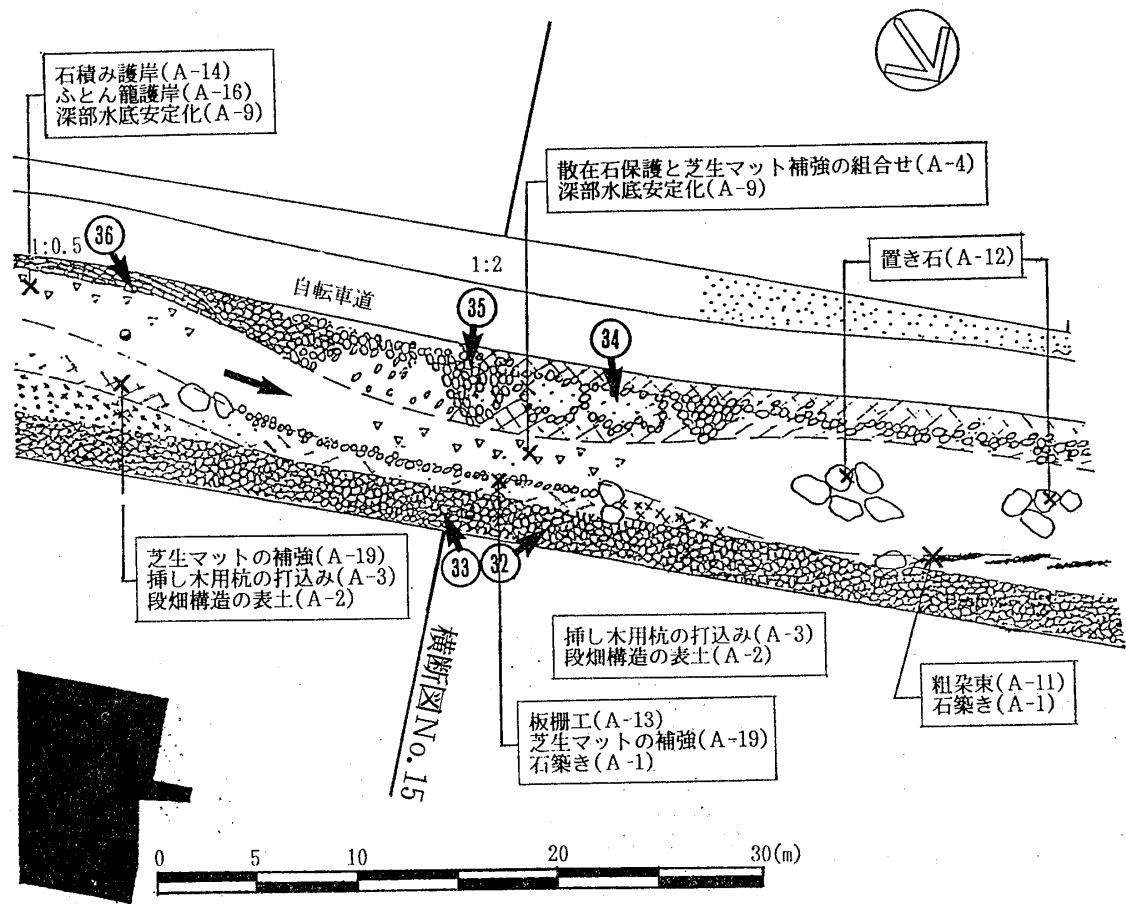


図-23 アルターバッハ川の河川の再活性化⁷⁾

Fig.23 Revitalization of the Alterbach River⁷⁾

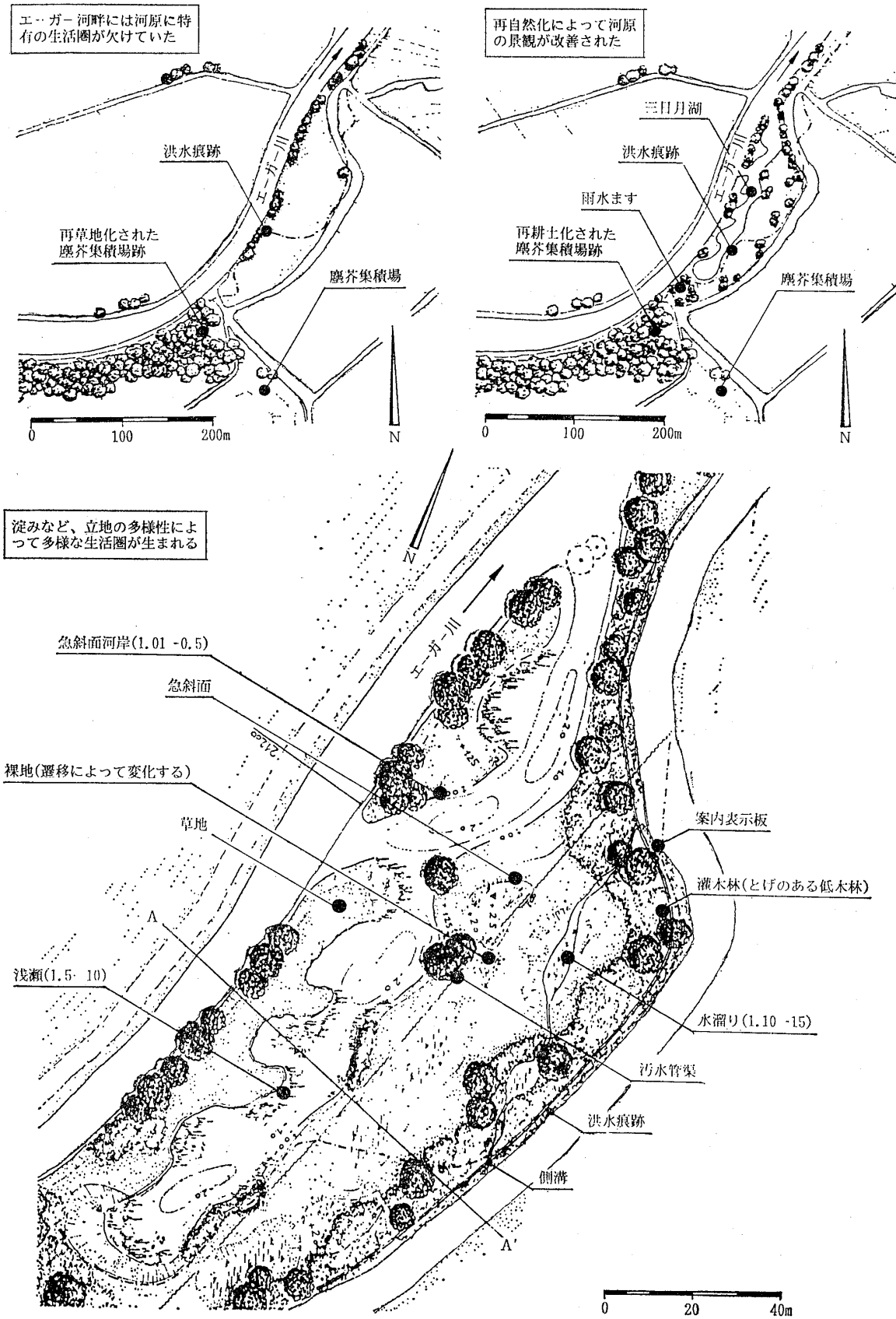
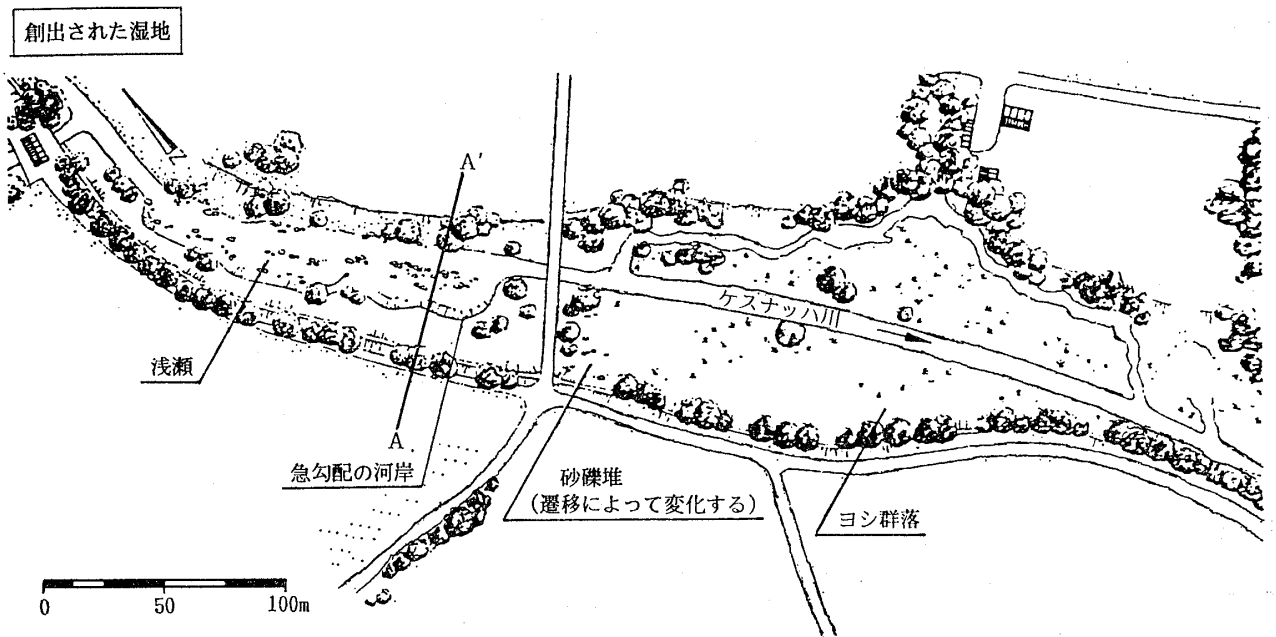
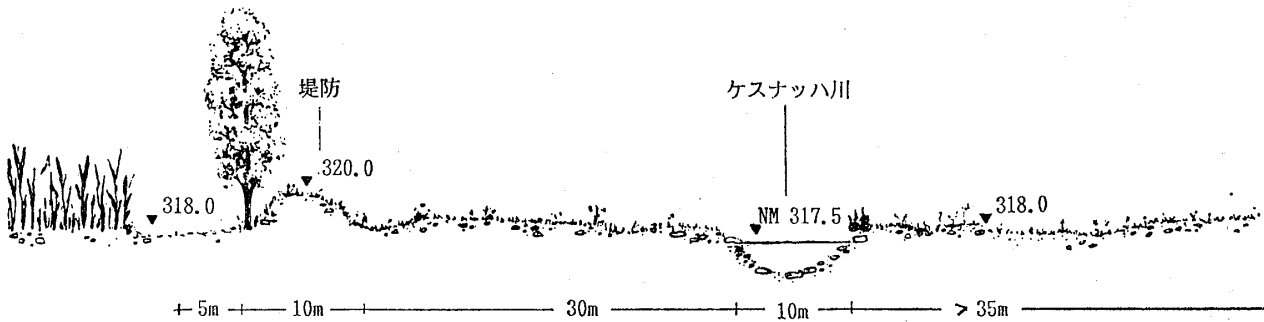


図-24 エーガー川におけるビオトープの創出⁹⁾
 Fig.24 Creating biotope in the Eger River⁹⁾



改修前の A-A' 断面図
河床は一定した形態である



改修後の A-A' 断面図
堤外地の開削によって、島、急勾配の河岸
および広域にわたる浅瀬が形成された

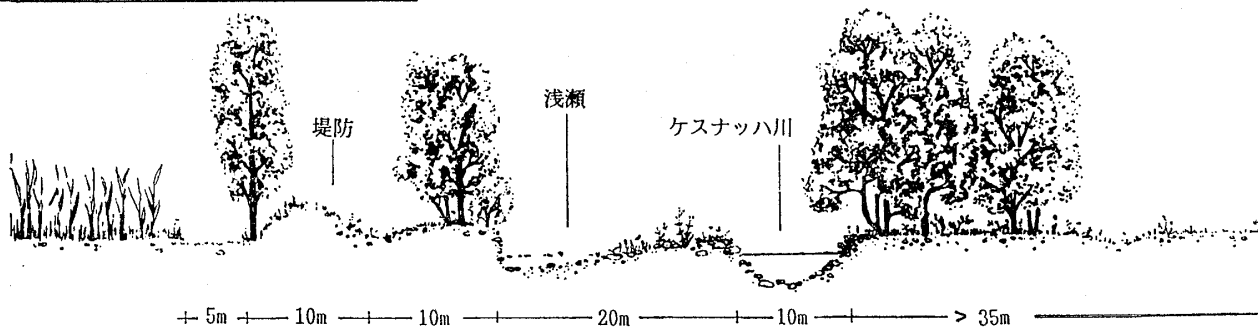


図-25 ケスナツハ川におけるビオトープの創出⁹⁾
Fig.25 Creating biotope in the Kössnach River⁹⁾

れることになった(図-25参照)。

(4) ドイツのバイエルン州のフィルス川

フィルス川は、バイエルン州南東部のランズフート市の東方の田園地帯を流れる流域面積 719km²、計画高水流量 337m³/s (年超過確率1/100)、平均流量 5.2m³/s の1級河川である。この河川は1973年~1976年に築堤工事が完了し、堤外地の高水敷は農耕地(賃貸)に利用されていたが、生態系のバランスが著しく損なわれたため、バイエルン州政府は、ビオトープの創出のため、1986年から1987年にかけて、堤外地および堤防と周辺を含む地域を用地として買収し、再改修工事を行った。ビオトープ再生のために以下の提案がなされた(図-26参照)。

- ・淀みをつくる
- ・乾湿変転区域、水溜まりおよび自然水路を創出する
- ・農地との境界には広範囲に植林する
- ・変化に富む景観を創出するために多種多様な植生の形成を図る

(5) ドイツのバイエルン州のロイザッハ川

ロイザッハ川は、バイエルン州南部のスイスとの国境に近い山間を流れる流域面積 424km²、計画高水流量 295 m³/s (年超過確率1/100)、平均流量 11.1m³/s の1級河川である。この河川は、1950年代に築堤工事が完了したが、その後の洪水発生状況に鑑み、流下能力の一層の増加をはかるために、引き堤による河道の拡幅や堤防の

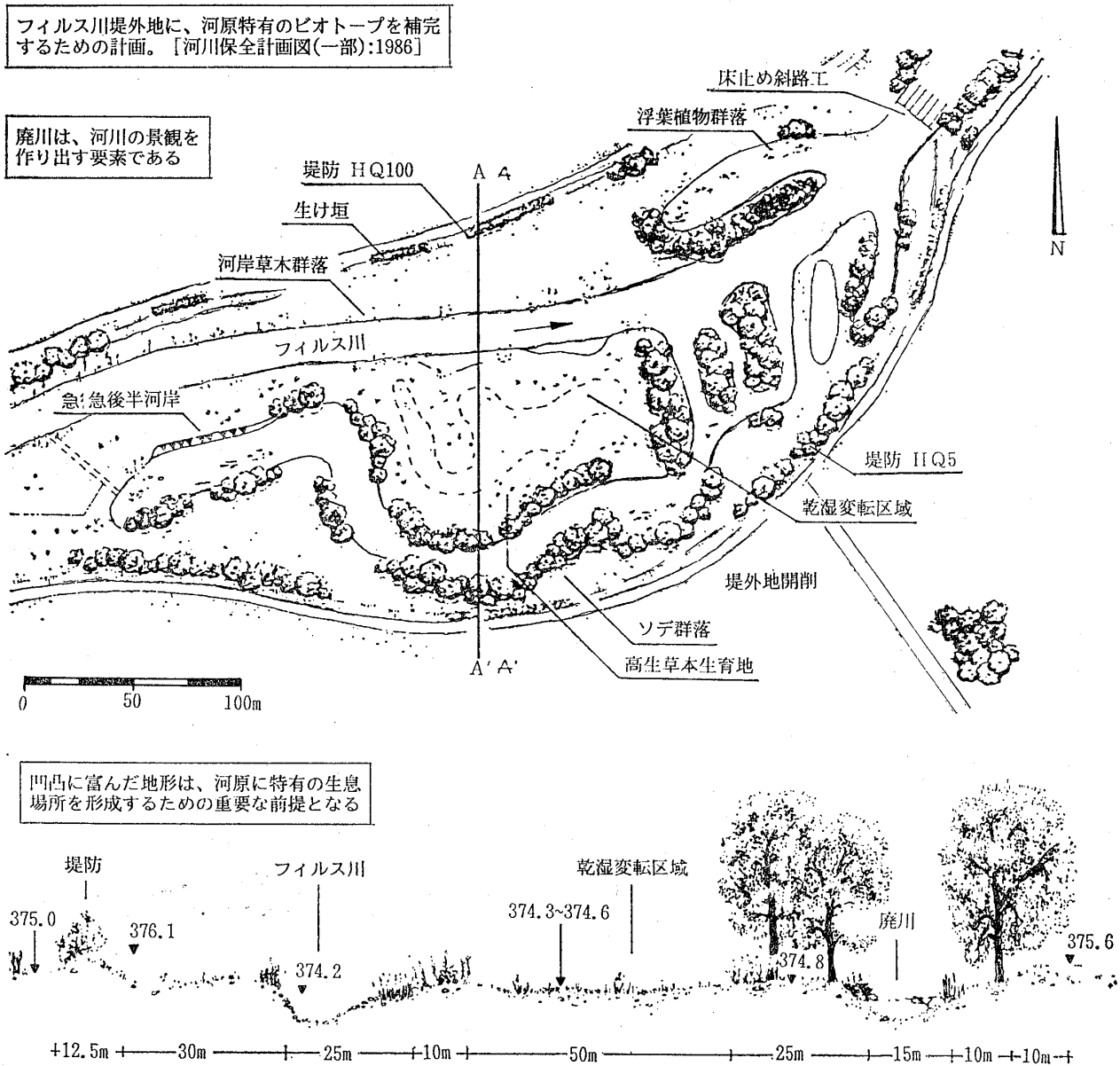


図-26 フィルス川におけるビオトープの創出⁹⁾
 Fig.26 Creating biotope in the Vils River⁹⁾

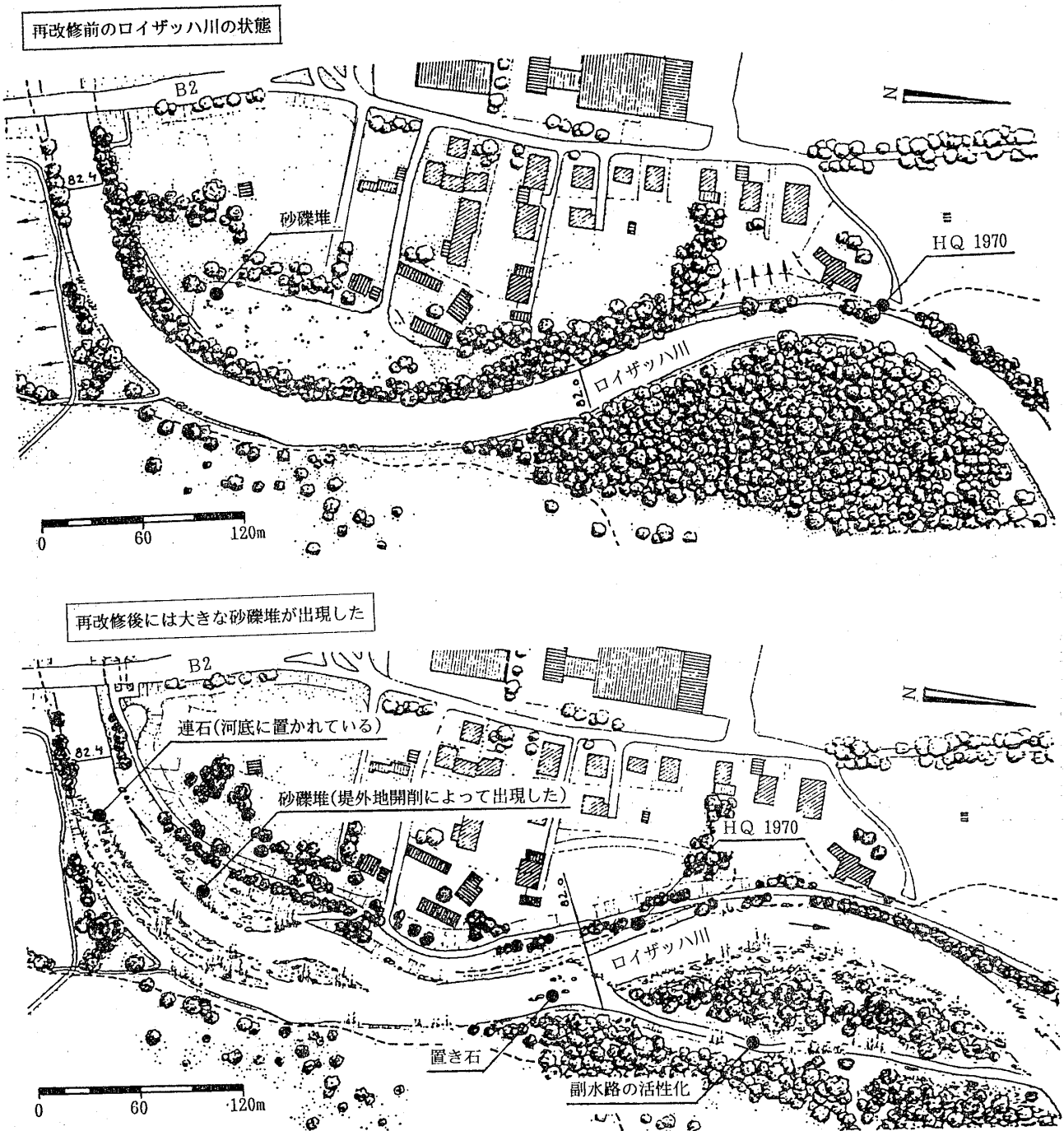


図-27 ロイザッハ川におけるビオトープの創出⁹⁾
 Fig.27 Creating biotope in the Loisach River⁹⁾

嵩上げが必要となった。この改修に際しては、洪水防御とともに、以下に示す点に関して、河川の生態系と景観に配慮した措置がとられている(図-27参照)。

- ・変化に富む河床を創出し、送流土砂の移動を可能にすること
- ・河原にビオトープを再生すること
- ・堤防を景観に調和させるとともに河岸の環境を復元すること

5 日本における「多自然型川づくり」の現状

5・1 日本の在来工法

日本における護岸工法や水制工法の変遷を図-28に示す。伝統工法や近代工法については、現在も使われているものがあるが、近年、親水性、景観、生態系などへの配慮から、かつての伝統工法の復活が見られ、それに付

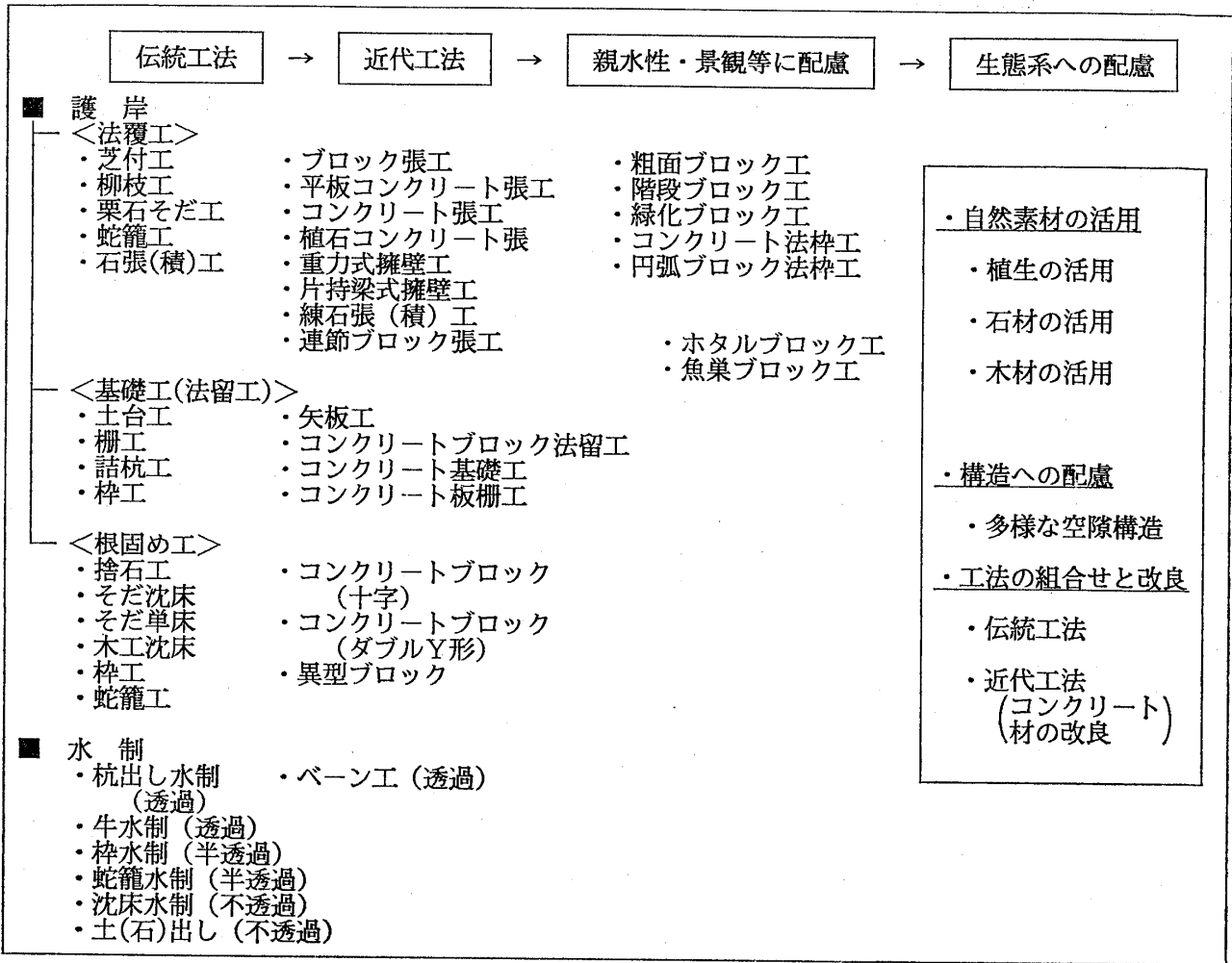


図-28 日本の護岸・水制における工法の変遷

Fig.28 Evolution of bank protection and groin construction in Japan

随して新しい工法も生まれつつある。

特に、近年の「多自然型川づくり」において、見直されている日本の在来工法は、以下に示す通りである。また、その代表的な工法実施事例を図-29に示す。

- ・法覆工：芝付工，柳枝工，栗石粗朶工，蛇籠工，空石張り(石積み)工，石羽口工，覆土工
- ・基礎工(法留工)：柵工，詰杭工，枠工
- ・根固め工：捨石工，粗朶沈床，木工沈床，枠工，蛇籠工
- ・水制：杭出し水制など

5・2 日本の多自然型河川工法

ヨーロッパにおける「多自然型川づくり」を概観すると、スイスおよびオーストリアのように、どちらかといえば、河道内の整備に重点を置いたものと、ドイツのように、河川周辺域(主として農地)を含む面的な整備を図る方法の2つ分けられる。

これらの方法に対して、日本では、堤内地などの河川

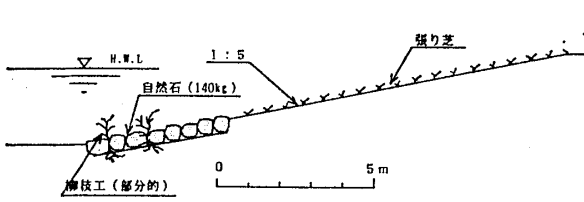
周辺域は、農地や市街地などに対する高度利用が図られているため、「多自然型川づくり」は、堤防を含む河道内整備として捉えることができる(図-30参照)。

これらの整備の中でも、護岸や堤防の整備が中心であり、表-19に示すように、平成3年度に日本で実施された606箇所の「多自然型パイロット工事」の工種の内訳のうち、約56%が護岸整備で、堤防の緩傾斜化や護岸の覆土、根固め、水制を合わせると、全体の80%以上が護岸および堤防の整備となっている。

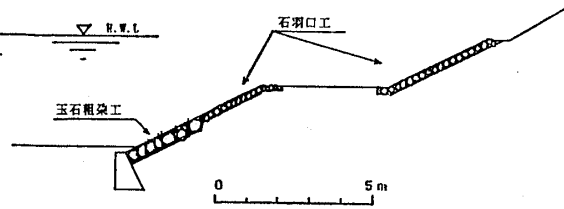
一方、「多自然型川づくり」の内容や工法は多岐に亘っており、その全体像は必ずしも明確にはなっていないが、現在、日本で考えられている「多自然型川づくり」の内容と工法例は、ソフトおよびハードの両面から整理すると、表-20のようになる。

表-20の中で、現在進められている「多自然型川づくり」は、生物にやさしい河川構造物(堤防護岸など)を造ることが中心で、自然の川が持つダイナミズムを生かすことや洪水時の外力を小さくすることなどのように、

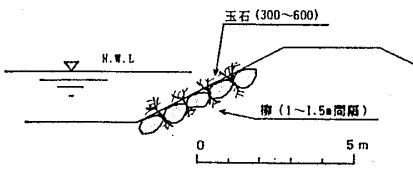
▼事例1：自然石（空石張）と柳枝工



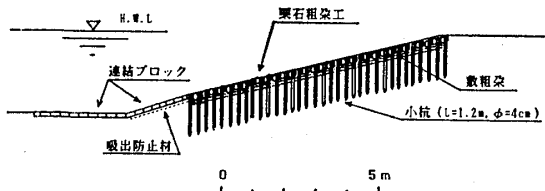
▼事例4：石河口工と玉石粗朶工



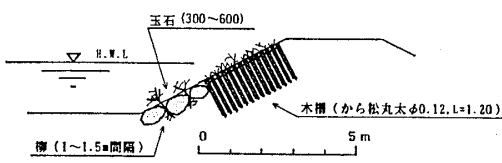
▼事例2：玉石（空石張）と柳の護岸



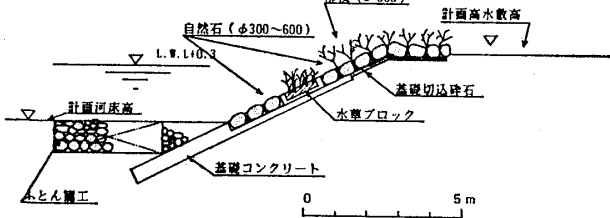
▼事例5：栗石粗朶工



▼事例3：玉石（空石張）と木柵と柳の護岸

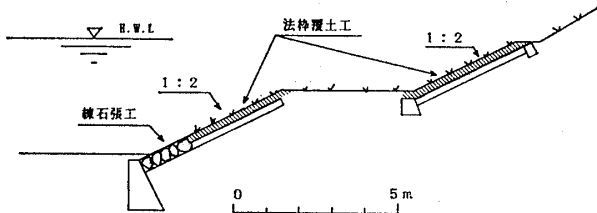


▼事例6：石組柳支工

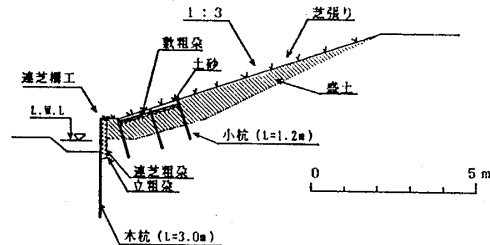


石材を活用した護岸

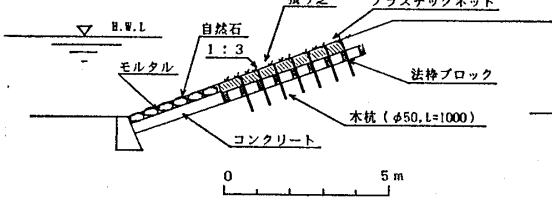
▼事例7：法枠覆土工



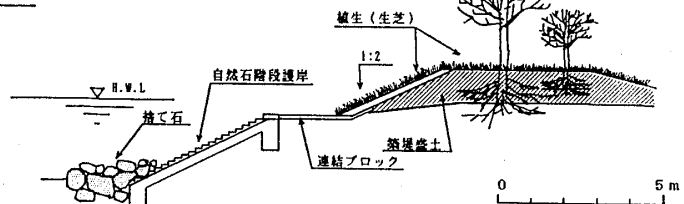
▼事例10：粗朶法覆工



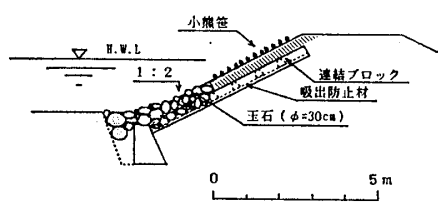
▼事例8：法枠覆土工



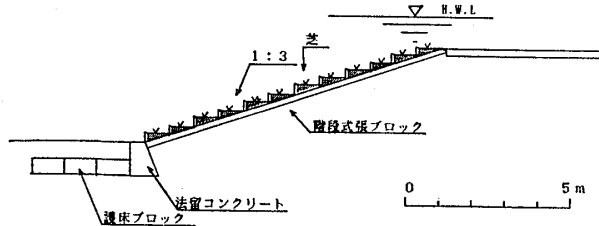
▼事例11：自然石修景護岸



▼事例9：接続ブロック覆土工、小笹植生



▼事例12：緑化片階式護岸工



植生を活用した護岸

図-29 日本における多自然型河川工法の実施事例²⁶⁾

Fig.29 Examples of nature-oriented river improvement methods in Japan²⁶⁾

表-21 多自然型河川工法と日本の在来工法との関係

Table.21 Relation between nature-oriented river improvement methods in Switzerland and Austria and traditional river improvement methods in Japan.

国	工法番号	法覆工					法留工				根固工				水制・石土出し	
		芝付工	柳枝工	栗石粗朶工	蛇籠工	空石積張工	土台工	柵工	詰杭工	棒工	捨石工	粗朶沈床	木工沈床	棒工		蛇籠工
スイス	S-1															
	S-2	△														
	S-3						△	△								
	S-4							△	△							
	S-5															
	イ	S-6		△					△							
		S-7		△												
	ス	S-8		△								△				
		S-9						△	△			△	△			
		S-10					△									
		S-11		△								△				
オーストリア	A-1					●										
	A-2		△													
	A-3							△								
	A-4					△		△								
	A-5		●													
	A-6										△				●	
	A-7										△	△			●	
	A-8										△					
	A-9										△					
	A-10															
	A-11															
	A-12															
	A-13								●							
	A-14					●										
	A-15		△						△	△						
	A-16														●	
	A-17								△	△						
	A-18															
	A-19								△							

●：類似する △：やや類似する

わが国において「多自然型川づくり」を実施しようとする場合、つぎのような項目について、その具体化を検討することが重要であると考える。

- ①流域全体の枠組みの中での「多自然型川づくり」
 - ・河川周辺の土地利用や自然度（生態系）と整合をもたせた「多自然型川づくり」
 - ・遊水池や河畔林整備など治水機能を併せた堤内と堤外が一体となった「多自然型川づくり」
 - ・線から面的整備への「多自然型川づくり」(ビオトープの形成)
- ②水質浄化対策と水量の確保への取り組み
 - ・魚の棲みやすい川づくりは、河川の構造や形態とともに、良好な水質と水量確保が重要であるが、水質浄化対策については、「多自然型川づくり」の中で、十分検討しなければならない
- ③「多自然型川づくり」の適地の判断、工法の評価
 - ・上流、中流、下流域のそれぞれの自然条件に合った工法や適地の判断・評価が必要
 - ・それぞれの場所における主目標を明確にする
- ④「多自然型川づくり」のモニタリング
- ⑤地元との調整
 - ・地域全体の環境保全の枠組みの中における河川整備の位置づけと地元の協力と理解が必要（川を含む地域全体に対する認識）

これらの項目の具体化のためには、植生などの維持管理や河川構造物としての技術の「多自然型川づくり」に対する信頼性を、治水上および景観・生態保全上の両法の立場から、それぞれの項目を再評価をしておくことが必要であろう。

- ①治水上の評価項目²⁷⁾
 - ・強度
 - ・耐久性
 - ・重量
 - ・粗度係数
 - ・屈とう性
 - ・材料の入手
 - ・施工性
 - ・治水から見た施工位置の選定
- ②景観および生態保全上の評価項目
 - ・動・植物の生態（施工前後の調査・予測・評価）
 - ・水質（施工前後の調査・予測・評価）
 - ・周囲の景観とのなじみ（経過時間による変化）
 - ・景観および生態保全からみた、施工位置の選定
 - ・維持管理

また、「多自然型川づくり」を効果的に実行するため

には、つぎに示すような課題について、研究が進められている。

- ①ジオテクスタイルの河川構造物への適用
- ②河川における洗掘対策
- ③護岸法覆工の水利設計法
- ④水制工の構造と配置法
- ⑤河岸侵食のメカニズム
- ⑥洪水流に及ぼす河道内樹木などの水理的影響
- ⑦植生による粗度変化
- ⑧その他

「多自然型川づくり」は、本来、ドイツにおける面的な整備のように、河川とそれを取巻く地域社会の自然度の向上を究極の目的とするものであり、一般論的な結論が求められたといて、すべての場合に適用できるものではなく、個々の特性に適合するように、細密な計画のもとに実行すべきであると考えている。

7 謝辞

この報文を作成するに当っては、現地調査や文献資料の収集などのために、オーストリアのザルツブルク市役所の F. Höllbacher 技師やドイツのバイエルン州のニュルンベルクダム新設事務所の H. Trögl 所長をはじめとして、多数の方々から一方ならぬご協力をいただいた。ここに記して、感謝の意を表わす次第である。

8 あとがき

本報文では、「多自然型川づくり」の先進地としての中部ヨーロッパのドイツ、オーストリアおよびスイスの事例について、内外の文献資料や現地調査に基づいて、その背景となる自然環境および社会環境を整理分析するとともに、多自然型河川工法の日本への適用について考察した。

スイスおよびオーストリアにおける「多自然型川づくり」は、山地特有の気象および地形条件、河川特性、土地利用の制約などから、どちらかといえば、河道内整備に重点が置かれており、その工法については、ほとんど日本の在来工法と類似したもので、主にヤナギなどの植生を使い、やや簡易な構造、形態が多いのが特徴であるのに対して、ドイツにおいては、河川や農地を含む流域全体の環境保全の一環として、「多自然型川づくり」やビオトープの再生が図られている。この社会的背景としては、農村の荒廃や環境汚染に対する危機感があり、その対策を実施するための制度や行政組織などがよく整備

されている。

スイス・オーストリアあるいはドイツを訪問して、まず感じることは、日本に較べて豊かな緑や自然環境が維持されているということである。しかしながら、統計的に見ると、スイス、オーストリアおよびドイツの森林面積が国土に占める割合が、26~39%であるのに対して、日本の森林面積(252,550km²:1986年自然保護年鑑)は、国土面積(377,835km²)に占める割合が約67%で、日本の方がヨーロッパに較べて森林が豊富であることになっている。

目で見た印象によるこの緑の多さの違いは、牧草地の有無にあるのではないと思われる。日本においても、森林以外の水田や畑が、仮に牧草地であったとしたら、ヨーロッパ以上に緑豊かな自然を感じるに違いない。

近年、ヨーロッパでは、牧草地の農薬や化学肥料による汚染が問題となっている。雨の少ないヨーロッパでは、広大な緑の牧草地のなかに潜む残留農薬や化学肥料は、河川の水質悪化や地下水汚染の原因の1つとして、社会問題となっている。

ヨーロッパの良く管理された森と牧草地は、絵のような風景を見せてくれるが、日本よりも冷涼な気候条件のもとに、長い歴史の中で人間が管理し過ぎたことによって作られた貧弱な植生と牧草地の農薬汚染に対して、日本よりも自然環境保全の欲求が高く、汚染に対する浄化機能として「多自然型川づくり」が必要になったとも考えられる。

「多自然型川づくり」に関する欧文資料によく出てくる言葉として、「自然のもつ浄化機能」がある。日本に「多自然型川づくり」を適用する場合、この意味をよく理解することが重要と考える。

引用文献

- 1) T. G. ジョーダン<山本正三・石井英也訳>(1998)
: ヨーロッパ文化——その形成と空間構造——
大明堂
- 2) 理科年表(1988) 丸善
- 3) J. ピューデル<平川一巨訳>(1977): 気候地形学
古今書院
- 4) 大森博雄(1980): 日本島山地の侵蝕速度の特徴について 昭和54年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書「日本列島の第四紀後半における自然の長期的変動に関する研究」(代表吉川虎雄) p. 42~55
- 5) 植村武, 水谷伸治郎(1979): 岩波講座—地球科学
9 地質構造の形成 p. 71
- 6) 財団法人リバーフロント整備センター(1990): まちと水辺に豊かな自然を 多自然型建設工法の理念と実際
- 7) Haus der Natur Salzburg, Institut für Wasserwirtschaft Boku Wien, Paracelsus Forschung Institut Salzburg (1986): Stadt Salzburg ALTERBACHSYSTEM Fließgewässerstudie 1986 — Flußmorphologie Gewässer-güte Ökologie Landschaftsästhetik Raumplanung —
- 8) 財団法人リバーフロント整備センター(1992): まちと水辺に豊かな自然を II 多自然型川づくりを考える
- 9) Wasserwirtschaft in Bayern Oberste Bau-behordei. Bayer. Staatsministerium des Innern (1989): Flüsse und Bäche -erhalten -entwickeln -gestalten —
- 10) 渡辺正幸(1988): 1987年7月~8月ヨーロッパ・アルプス地域の災害 河川 昭和63年5月 日本河川協会
- 11) 松田芳夫(1987): リバーフロントの整備技術 河川 昭和62年12月 日本河川協会
- 12) 高橋 強也(1982): 農村計画学 諸外国の農村計画 p. 234~240
- 13) 欧州地域活性化調査団(1991): 緑のドイツ一人と自然にやさしい地域づくり—(社)北海道土地改良設計技術協会 農村地域研究所
- 14) Bär, Oskar (1973): Geographie der Schweiz [日本語版「スイス その国土と人々」(前島郁雄訳, 1979) 帝国書院]
- 15) 西欧主要河川調査団(1988): 西欧主要河川調査団報告書 (財)国土開発技術センター
- 16) OBERSTE BAUBEHÖRDE IM BAYERISCHEN STAATS- MINISTERIUM DES INNERN (1987): DIE OBERSTE BAUBEHÖRDE IM BAYERISCHEN STAATSMINISTERIUM DES INNERN AUFGABEN UND ORGANISATION
- 17) Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK) (1984): MERKBLÄTTER ZUR WASSERWIRTSCHAFT 204/1984 Ökologische Aspekte bei Ausbau und Unterhaltung von Fließgewässern DK 627.4 Gewässerausbau DK 574 Ökologie

- 18) 欧州水辺空間整備事情視察調査団 (1991): 欧州水
辺空間整備事情視察調査団報告書 チューリッヒ
州河川保護建設局を訪ねて (財)リバーフロント
整備センター
- 19) 鮭川 登 (1990): スイス・チューリッヒ州におけ
る河川管理と河川改修 日本のかわ 1990年4月
pp. 4~6
- 20) 石井研二, 端 憲二 (1978): 西ドイツの親水事例
農土誌 Vol. 53, No. 9, pp. 811
- 21) Mader, H. (1992): FALLSTUDIE ALTERBA-
CH/STADT-GEBI ET SALZBURG,
Renaturierung von Fließ-gewässern indicht
besiedelten Gebieten, ÖWWV-Seminar am
27. Mai 1992 in Wien
- 22) OBERSTE BAUBEHÖRDE IM BAYERISCHEN
STAATS-MINISTERIUM DES INNERN
(1987): NATURNAHER Wasserbau
- 23a) Göldi, Christian (1988): River Improvement
Considered Natural Environment in Switzer-
land [日本語訳「スイスにおける自然環境を考慮
した河川改修」(山脇正俊訳)] 環境情報科学
Vol. 17, No. 3, pp. 41~43
- 23b) チューリッヒ州河川保護河川工事局長 (AGW)
(1987): 河川維持と自然保護のための基礎指針
環境情報科学 Vol. 17, No. 3, pp. 43~47
- 24) GESTALTUNGSPLAN ALTERBACH
Detailproject für Bauabschnitt 1: Institut
für Wasserwirtschaft Universität für
Bodenkultur, Wien
- 25) INSTITUT FÜR WASSERWIRTSCHAFT
UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTÜR IN
WIEN: APPENDIX: KATALOG DER
BAUMASSNAHMEN DARSTELLUNG UND
BESCHREIBUNG
- 26) 北海道土木部河川課 (1992): 河川, ダム環境事例
集
- 27) 清水 裕, 島谷幸宏, 小栗幸雄, 神庭治司 (1990)
: 河川環境講座 (その5) 一河川生態系と河川
整備一 土木技術資料 Vol. 32, No. 7, pp. 73~
79
- 28) 安田 実 (1992): 多自然型川づくりの取り組み状
況 河川 No. 553 平成4年8月 pp. 31~38