

自然界にやさしいコンクリートをめざして

関西日本科学技術研究所 福留 脩文

1. はじめに

いまや、生態系の復元という地球規模での環境問題の課題が、21世紀にむけての国際的な緊急プロジェクトであることは、改めて述べるまでもない。我が国においても、国および各都道府県レベルにおけるローカルアジェンダ21の策定や、白神山地や屋久島における世界遺産の地域指定などへの対応は、まさしくその国際協調の一環として取り組まれているものである。またさらに、環境基本法（環境庁）や環境政策大綱（建設省）などが相次いで策定されたのは、そうした課題にむけての、今後の国土の基盤整備のあり方を示すばかりでなく、広く日本の国民生活や経済活動のうえにおいても、まさに総力をあげてめざすべき方向を示したものである。

こうした取り組みは、私が11年前に訪れたスイスやドイツの国々では、その時すでに一部では常識とさえなっており、河川や道路などでの土木事業における自然生態系の復元や、第一次産業、第二次産業における地球規模での持続可能な自然資源の利用および開発、また都市や農村における人びとの生活も、より自然界に負担をかけない循環型社会をめざして様々な実践がなされていた。そして、それらの運動の背景には、そうした国際的な課題に対する各国あるいは地域の人々の義務もしくは責任感ともいえる認識が、それぞれの基調にうたわれているのが印象的であった。

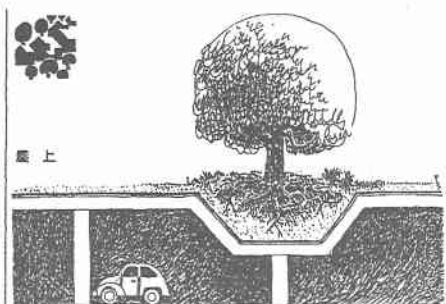
我が国をふりかえてみると、戦後の復興期から災害に強い安全な国土を建設し、そして世界にも例を見ない短期間での高度経済成長の時代を経て、今日やっと工業立国としての基盤を築いてきた。ところが世界の情勢は、我が国にいままた時を移さず、この大きな環境問題にも厳しく立ち向かうことを迫ってきている。しかし、その激しい時代の変化の中で、日本の行政や国民、産業界は、必ずしも共通の現状認識を持っているとはいえない。むしろ多くは、かつての経済開発最優先の時代を、またはその結果に得た状態をそのまま引きずっていかうとしているかのようである。

最近の土木建設の世界でも、こうした時代の流れに対応して、国の政策でも、これまでの経済発展を優先した開発志向型から、先に述べたように自然環境や生活環境を重視した保全志向型に大きな方向転換を示してきている。例えば、これまでと同じ事業や施設の建設であっても、従来通りの経済的な合理性ばかりでなく、自然界の生き物や物質のシステムにも配慮した、機能や構造の設計または材料の選択を行うことが求められている。しかし、それを実行する現場においては、それぞれの段階に目的を誤解していたり、従来の方法を改めるのに戸惑いが見られ、その問題の本質は必ずしも正しく理解されているといえないようである。

そこで以下に、とくにヨーロッパのドイツ語圏で発展してきた、生態系復元の土木技術である近自然工法を中心に紹介し、その中でコンクリートに求められる新しい役割を再評価してみたい。

2. 近自然工法と自然生態系の復元

1760年代にイギリスから始まった産業革命の影響は、今日、ヨーロッパ大陸の工業先進国とよばれる国々の社会や経済の仕組みを一変させ、自然環境も大きく改変させた。スイスでも森から多くの木が切り出され、



駐車場屋上の緑化の断面図。チューリッヒ州建設局は、このような住宅地における自然の保全と創造を含め、これからの地域づくりの指針を示すガイドブックを発行している

山地の荒廃や河川の氾濫が相次ぐと、やがて1870年代に森林法や河川法が整備され、今世紀の前半には大小ごとく河川が改修された。そして安全な国土の状態が確保されると、それにとまって都市や農村の経済基盤の整備が進み、多くの自然環境が人為的に改変されていった。今日、絵のように美しいスイスの農村風景も、多くが人間の手の加わった人工的な景観であるという。

我が国と異なり、長い年月をかけて国土を整備し続けてきたヨーロッパのこうした国々は、確かにその時代時代の歴史文化を感じさせる、美しく整った都市や農村の景観を有している。そしてその上で、スイスやドイツでは新しい環境問題へのアプローチが始まっていった。それは自然界の小さな生き物の生息環境や、大気や水や土壌の自然のはたらきを取り戻す、いわゆる生態系復元の運動であった。そこには、これまであまりにも人間中心の開発を進めてきた人々の反省と、自然への思いやりがあったようであるが、ちょうど一方で、人間の環境破壊が21世紀の地球気候に大きな変動を与えるという警告が、以前からずっと出されており、地球上の人間を含めたあらゆる生き物の生き残り戦略を、国際的な協力で実行しなければならないという国連の動きとも目的が一致していた。

今日のマスコンクリートや大型建設機械が登場してくるよりも以前の土木建設の時代には、土そのものや石、鉄、植物などの多様な自然界の素材が使用され、それらの部材を巧みに加工して組み合わせる多くの技術者や職人たちによって、中には何世紀をも生き残る安全で強い構造物や施設が造られてきた。それらの時代には、そうした個々の部材の特質をよく知り抜いた知識と経験と、さらにその土地の自然をよく観察する優れた勘とセンスを備えた技術者が養成され、見事な時代時代の文化を残してきている。

その構造は外観的にはしなやかな曲線を描いたり、どっしりとした剛構造であったりしても、基本的にはおびたしい部材どうしの組み合わせであり、その接合部の構造の多様性が、自然界の営みを大なり小なり受け入れてきたといえる。それは大気や水や土壌の自然循環システムを完全に遮断しないことであり、またそのことにより、自然界の小さな植物や動物たちの生息空間を提供できたことであった。そうした構造物や施設に、多くの人々は本能的に自然的なぬくもりを感じるのかもしれない。

今世紀、人間の文化や社会経済の発展を支えた土木建設技術の主役は、短期間に大量生産が可能で、施工性や経済性に優れたコンクリートであったことに誰も異論はないであろう。しかし、その一方で、コンクリートの特徴である材質の緊密性や、直線的な平面型枠によって形成される、無機的な人工構造物の巨大な塊が、結果として自然界の様々な営みを破壊してきたことも紛れもない事実であった。

こうした視点から、都市や農村などにもっと本来の自然のはたらきを取り戻し、小さな生き物たちにもその生息空間を与えようとする動きが現れてきた。河川においては、いまから20年ほど前にスイスとドイツでほぼ同時にその運動が始まっていたが、筆者らはそのドイツ語の“NATURNÄHER WASSERBAU”という言葉で“近自然河川工法”と名付けた。これまで人間の手が入り、人工化された河川や湖沼などの水域に、できる限り自然本来のはたらきを取り戻させるという新しい土木の思想と技術である。

またこの近自然というコンセプトはひとり河川にとどまらず、森や農村さらに都市の施設や基盤整備の中にも、さまざまなかたちで導入されている。そしてそれらに共通していることは、そこに使われる材料が決してコンクリートなどの近代の土木材料を否定しているものではないということである。コンクリートは、さらに人口が増え続けるこの地球上にあって、人間が安全にしかも自然にできる限り負担をかけず効率よく住んでいくために、必要不可欠であることはいままでもない。



1806年につけられたローマ橋。重量車輛に耐えられず
近年つけかえられたが、元のデザインはそのままに

3. 近自然工法とコンクリート

1) 河川

古来より人々は、河川の氾濫から生命や財産を護るために、集落の周りに堤防を築き、洪水の勢いや流れの方向を変える水制や様々な特殊堤を設置してきた。そしてさらに河道の安定を図るため、高水を誘導する堤防法線を直線状に連続させ、低水路の法線もその川の蛇行特性に応じて緩やかな曲線形状でつなぎ、自由に流れる自然の河川を、段々と一定の流路へと固定してきた。また洪水により、その河岸が侵食や崩落を受けるのを防ぐために護岸工事もなされてきたが、洋の東西を問わずいつの時代でも、護岸はその基礎前面部の洗掘を防ぐことが最も重要であり、そのため河岸の法尻には法止め工や根固め工さらに水制工などの多様な工法が用いられてきた。そしてそれらの材料には、法面を保護する法覆い工も含めて、主としてその土地で調達できる石材や木材が使われ、または水防の役割を果たす河畔林が育てられたり、その川成りに応じて実に様々な形状の営造物がつくられてきた。その結果、その時代にはまだ多くの生き物たちが生息できる河川環境が残され、川の景観もそれなりの風情がつくり出されていた。

しかし、やがてコンクリートが新たな土木材料として河川の工事にも登場してくると、それまでの熟練を要し手間のかかった伝統工法は、この均質で強度があり、施工が容易で後々の維持管理にも手間のかからない、当時でもまたまさに今日においても合理的な近代工法に段々と取って代わっていった。そしてさらに、人々のより高度な土地利用へのあくなき欲求は、そのコンクリートの特性を利用して、河川の河岸を直立に近い高い護岸構造へと変えていった。

その結果、それまでの凹凸があり多孔質な水辺の護岸や水制による柔構造と、それによってつくられていた淀みや多様な形質の河床形態は、平面的で緊密な河岸の剛構造に、そして、水中の多様な生き物のとくにその食物連鎖の一番底辺を構成する藻類やプランクトンまたは水生昆虫などの生息には適さない、単調な水の流れと無機質な河床に変わっていった。しかし、治水面からはたとえ剛構造のコンクリート護岸であっても、洪水時の外力にそれ自体で耐えられるものではなく、例えば、やはり護岸基礎前面部が洗掘を受けると、やがてその構造でも崩壊することを避けることはできなかった。そのためやはり、根固め工や床留め工などによってそれを予防する必要があった。そして、ここにもコンクリートの成形しやすい特性を活かした、しかし多様な生物界にとっては画一的な、標準規格の構造物が次々と設置されてきた。

近自然河川工法は、この近年のあまりにも人工化されてきた河川改修のあり方を反省して生まれた。その技術は、治水上はかつての伝統的な工法と近代の河川工学を応用し、河川生態系の復元は、その施設がよみがえらせる水や河床の掃流土砂の働きなど、自然自身のもつダイナミズムに委ね、水辺の景観はそうした自然が成長していくプロセスとして、土地の自然または文化の景観に調和させていくことを基本コンセプトとしている。ここにおいて、かつての伝統工法の治水面だけでなく生態学的な効果が再評価され、同時にそこに使われる工事用材料も、多様な自然素材が再び見直されてくる。それは、大きく水中と陸上部の構造に分けて考えることができる。

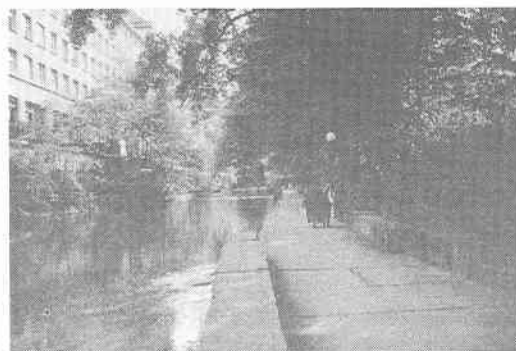
まず一般的に水中に当たる構造は、河岸の脚部を護る護岸基礎工および水制工と、河床の安定を図る床留め工が該当する。河岸の脚部については、自然河岸でその洗掘防止対策の必要な場所には、法止め工、根固め工および水制工を一体の構造として、できるだけ自然河岸にふさわしい多様な天然の材料を組み合わせ、そして新しい近自然コンセプトのデザインで保護対策を講じるべきである。その際、護岸法覆い工の必要性を厳密に検討するならば、むやみに堅固なコンクリート構造物を設置することは避け



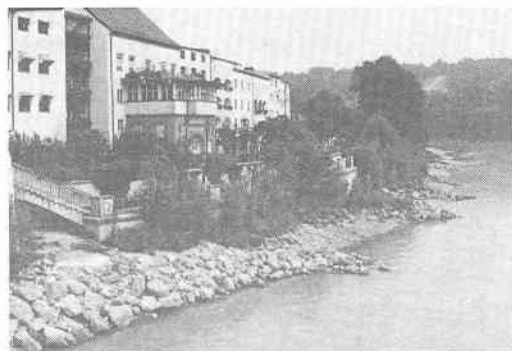
低水路法線は緩やかな蛇行をもたせ、水際は根固め水制で護岸基礎前面部の洗掘を防いでいる

ることができる。自然河岸の状態が高水に対し十分に耐えられるのであれば、法尻の洗掘を予防する手段を講じたうえで、そのままの状態を維持することが望ましいが、必要に応じて法覆い工を設置しても、その上は河床からの連続性のある土砂で覆土することが望まれる。

それに対し、人工河岸にすでに改修されている河川でも、やはり護岸基礎前面部の洗掘を予防するためと、さらにもっと積極的に、水際を直線状に固められている河川にこそ、生態学的な環境の改善をめざし、上述のような対策工を講じていく必要がある。しかし、その際、特に集落や都市部の中を流れる河川については、自然河川の景観に近づけることが妥当な場合もあるが、古い町並みや伝統的な構造物など一体となっているような河川では、特に水面から上に見える護岸全体の材料や構造デザインにおいて、その歴史的または文化的な景観と調和させる必要もある。



チューリッヒ市を流れるかつての掘り割り。
水中には小動物の生息場所がデザインされて
いるが、夏の平水時には水面下に隠れている



100年に一度の確率の洪水を想定したコンクリ
ートパラベット護岸。背後の歴史景観を壊さ
ないように配慮した近自然的改修

一方、河床の安定を図る床留め工については、落差の大きい落差工と小さな帯工とに分けられるが、いずれも水中の多様な動物たちの移動が可能な構造であることが望まれる。スイスやドイツでは、伝統的にできる限りその落差を60センチメートル以上にしないという考えがあったようで、落差の大きい場合には、その最小単位をステップにこれを階段状に段差を設け、水叩きの部分に深さ約80センチメートルの窪地を設けている例を多く見かける。特定の魚類の移動を助けるためであろう。近年では、それをさらにもっと小さな生き物たちも移動でき、そして多くの魚類の産卵や生活の場となる瀬や淵のある自然河川の環境や景観を復元するために、もっと大小な落差のある緩傾斜の床留め構造に変えてきている。

ところで我が国のとくに近年に大きく改修されてきた河川では、河道線形や河床勾配が人為的に大きく改変されているところが多く、高水時などに予想外の外力を受けることがある。そのためそうした場所でのこれらの水中の構造物は、高水時の水圧と洗掘ならびに河床変動に十分耐えられる強度または屈撓性を検討しておく必要がある。これまでの既往の工法では、それぞれに応じて多種多様な構造規格が開発されているが、今後それらは新しい時代の要求にも応えて応用していくべきである。

2) 陸上施設

これまでコンクリートやアスファルトは、先に述べた河川をはじめ道路や公園など多くの施設や建物などに、人間の多様な欲求を満たす便利な土木建設材料として、都市や農村を問わず自然の山野にも多く使われてきた。その結果、極めて高度な土地の利用が可能となり、多くの人々がそれぞれの多様な文化生活を営むことができるようになってきた。しかし、手軽に入手できて施工が簡単であり、後の維持管理にも手間のかからないこれらの材料は、かつて都市や集落の中にも存在していた自然界の営みを、いつの間にか徹底的に追い出すことにもなった。その影響は、人間が肉体的にも精神的にも健康な生活を営むために、自然との触

れ合いを必要とする生活環境の場にも登場してきているようである。

例えば、人々が散歩したり休憩する場所でも、公園や路地をはじめ個人の庭やときには学校の校庭でさえ、それまでの土や石畳などの地表面が、コンクリートやアスファルトの舗装面に変わってきている。そこには、まるで自然界に手を加え、都市や新たな人工の世界を築きあげる技術、またはその結果としての状態を、ひとつの文化として理想を求めてきた人間の原初的な歴史が存続しているかのようである。たしかに過酷な自然界から独立して、人間が社会を築くということは、自然界のシステムとは異なる人工のシステムを構築することである。そして、かつては自然界の営みと共存していた、社会経済のシステムや生活様式が存在していた時代もあった。現在もそういう地域は存在するが、しかし、工業先進国とよばれる多くの国々では、いつの間にか人間社会が自然界から完全に遊離し、そればかりでなく自然界の営みさえも拒絶しようとしていた。

今日のスイスやドイツの国々では、そのようなこれまでにあまりにも人工化してきた環境を、再び人間性の復活をめざして再開発していこうとする運動が見られる。それは、これまで自然界から人間が奪ってきた生き物たちの生息圏を、再び復活していく運動そのものでもあった。まさに先に述べた河川の自然復元の運動は、そればかりでなく森や農地などの自然地域での生態系を復元するとともに、都市や農山村集落においても、小さな生き物たちの生息場所を復活させる運動ともつながっていた。そしてさらにその相乗効果は、とくに都市部で失っていた水や大気や土壌の自然の循環システムのはたらきを復活させることであり、まさに21世紀のエネルギー資源の有効利用をも含めた、持続的開発可能な人間活動を見直す運動とも連携していている。

その陸上の生態系では、生物界の食物連鎖の底辺を構成する植物や微生物または昆虫たちは、土地の気候と地殻物質によってその生存を決定され、また同時に長い年月をかけてその地表に土壌をつくり出してきた。この土壌と生物界がまた降水を貯留し浄化して、地下水を涵養する自然循環のはたらきを助けている。ところが、これまで近代国家とよばれる多くの国々は、その社会経済的な基盤を整備するため、この大地の土壌を突き固め舗装や建物で覆ってき、また農林業生産の効率を上げるために、大量の農薬や殺虫剤を土壌に散布してきた。その結果、予期しなかった多くの環境問題が、都市にも地方にもそして地球規模にも発生してきた。いまその反省点に立つならば、たとえばこれまで一律にコンクリートやアスファルトで固めてきた道路や広場の舗装面は、車の往来の激しい車道以外は、透水性の高い材料を選択するであろう。駐車場や路地などの地面は、砂利や土のままに、もしくは固いブロックと組み合わせる方法で維持することができる。

スイスのチューリッヒ大学の新しい敷地計画では「建築物を含む屋外空間を自然に近く形成する」というコンセプトで造成工事が行われた。そこでは、都市空間に「自然一原野」を創出することに意義と目標があるとしているが、人々が都市の中に自然を発見し、こうした自然地域の生態学的な価値を再認識して保存する動機になればということがうたわれている。例えば、野生の雑草、土くれ、多様な植生の生育する湿地などは、これまで都市では無視され除去されてきた。また、日向または日陰になる荒けずりな傾斜地、乾燥したまたは湿潤な砂利と岩石にかこまれた空間、川の流れまたは滞留する水域などは、固いコンクリートに覆われるか、または観賞用の花木で緑化されたりしてきた。これらの自然に近い土地をこの敷地造成においては意図的につくり出している。そして、その計画書には、工事は終了しても自然の復元が将来にわたり完成することはあり得ないと



チューリッヒ大学の敷地内。在来の水辺植物の生長を維持・管理していく人口河畔。この風景の下に駐車場などの巨大な人工空間がある

記されている。

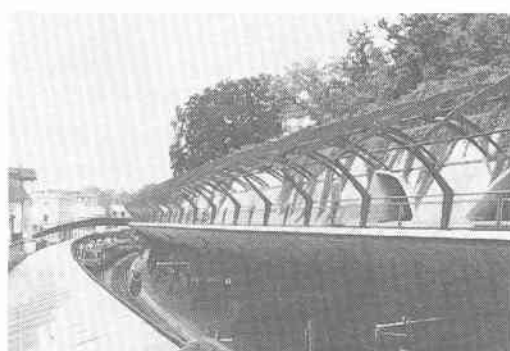
その一方で、人間ができるだけ自然界に負担をかけず、効率よくしかも安全に土地を利用していくために、スイスではコンクリートを実に巧みに使い込んでいる。都市はコンクリートの巨塊によって囲まれている。その建築物の壁面ばかりでなく屋上を緑化することは、降水の流出を抑制し自然界の動植物にその生息環境を与え、さらに建物内の冷暖房に使うエネルギー効率を改善し、そこに使われていた化石燃料を節減して、大気中に放出していた炭酸ガスを減少させる。

都市を車の洪水から守るため、郊外に大型の地下駐車場を構えるということにはさまざまな意味がある。長時間ただ止めておくだけの車は地下に入れ、その地上部は自然に近い土壌や植物に返すこと。そして都市や集落の街路や広場、路地などは、できるだけ本来の多くの人々が出会い憩う交流の場として復活していくこと。その地表も固い舗装からかつての石畳などに戻していくことは、単なる郷愁だけではない人間性の復活につながることで位置づけている。

都市域をむやみに拡大することなく、限られた土地で利便性や環境問題さらに人間性の問題などを追求していくと、21世紀の交通網はバスや鉄道などの公共機関を発達させることが重要である。スイスの最大都市チューリッヒでは、地上に高架式の道路や鉄道を建設するのをやめ、道路の上はエコロジカルな陸屋根を設けたり、鉄道は地下空間を開発して、自然と共生する人間都市の創造をめざしている。そうした取り組みの中で、丘の斜面を切り取り、厳しい立地条件の中で建設したチューリッヒ地下鉄の多面構造の駅空間は、コンクリートの果たすべき限りない役割とその可能性を示唆している。



郊外から来た車を市内に入れないようにつくられた3000台収容の地下駐車場の入口。このような乾燥した岩場にも生物が生息する



丘の切り取り斜面の山留コンクリート構造を利用して、地上部に歩道および地下鉄のプラットフォーム、地下に商店街を開発した

4. おわりに

平成7年10月に、我が国の「生物多様性国家戦略」が地球環境保全に関する関係閣僚会議での決定事項として発表されている。その中では自然地域における生物多様性の保全をうたうとともに、都市地域においても『市街化された地域において都市の骨格を形成する緑を系統的に整備するため、都市公園等に加えて道路、河川、砂防、港湾漁港、下水処理場、官公庁施設等及び公的資金を活用して供給される住宅の緑を積極的に創出する。その際、郷土産樹種の植栽等により、生物の生息・生育に適した空間となるよう配慮する』ことを掲げ、これらを国民各界各層の参加と協力の下で、各種の施策を積極的に推進するとうたわれている。テクノロジーにより深刻な公害問題をクリアしてきた我が国は、こうした生物の多様性のある国土を復活したとき、初めて世界に環境大国として誇りうる国家になるのではないだろうか。