

特集「持続可能な社会の構築に貢献する技術」

解説

持続可能な社会の構築に貢献する技術
Technologies for Sustainable Development

時野谷浩良 Hiroyoshi Tokinoya

1. はじめに

持続可能性という言葉を目にする機会が多い。持続可能性という考え方は、国連のブルントラント委員会（環境と開発に関する世界委員会）が1987年に出した報告書「我ら共通の未来(Our Common Future)」の中で「持続可能な開発(sustainable development)」という概念を提示したのが始まりとされている¹⁾。その中心的理念は、「将来世代のニーズを満たす能力を損なうことなく現代世代のニーズを満たすこと」と定義されている¹⁾。なお本特集解説では、以降において、「sustainable development」を「持続可能な発展」と表記する。

世界の情勢を概観すると、大きな転換期を迎えていると言える。21世紀に入り、環境・経済・社会にわたる分野で深刻かつ複雑な問題が発生し、その解決策、社会のあり方が問われている。環境面では、砂漠化、生物多様性の危機、地球温暖化など、地球環境問題が存在する。経済面では、2006～08年にかけて原油・食料価格の暴騰、エネルギー・食料危機が深刻化するなか、2008年のアメリカのサブプライムローンに端を発した金融・経済危機とその影響が世界に及び世界同時不況をもたらした。このように、経済の持続可能なあり方も問われている。社会面では、グローバリゼーションの進展に伴う貧困問題、人権問題、格差（世代、地域）が顕著化している²⁾。

このような複雑な問題に対して、人類が生存可能な地球環境と人類文明を、いかにして持続させるかを考える上では、Fig.1に示すように、環境、経済、社会の3側面からの考察が重要とされている^{2), 3)}。すなわち「持続可能性」は、①自然・資源の利活用の持続としての環境的持続可能性、②効率・技術革新を確保し、公正・適正な経済システムを築く経済的持続可能性、③基本的権利・ニーズと文化的・社会的多様性を確保する社会システムにより生活の質・福利厚生を確保する社会的持続可能性、の3つの側面の均衡した定常的状态としてとらえていく必要があるということである。

国内においても、持続可能性の重要性は強く認識されている。国土交通白書(2012年)⁴⁾は、「人口減少、少子高齢化、財政制約、国際競争の激化に加え、地球環境問題や震災を契機としたエネルギー制約に直面しているとの認識の上に、これらの課題を克服し、我が国の明るい将来を築くため、持続可能で活力ある国土・地域づくりを推進することが不可欠である。」との分析に基づいた施策方針を示している。

このように持続可能な社会の構築には、環境面、経済面、社会面に及ぶ様々な技術、政策、またそれらを包括的・有機的にマネジメントすることが必要とされている。このような情勢下において、建設技術は、主に環境面において、広く多様な分野で持続可能な社会の構築に貢献できるものである。

今回の所報の特集では「持続可能な社会の構築に貢献する技術」と題し、大林組の保有する技術について、持続可能な社会の実現の観点から論文と技術紹介で示している。この解説では、持続可能な発展に向けて建設技術はどのように貢献できるのかを概観する。また、今回の論文・技術紹介以外での大林組の保有技術についても、技術分野で整理して簡単に紹介する。

2. 建設技術の貢献状況

本章では、持続可能な社会構築に建設技術がどのように、どのような状況で貢献しているかを、Fig.2に示す4つのカテゴリーに分類して概観する。

なお、この分類は、サステナビリティ関連での分類に倣ったもので、必ずしも広く一般的に定義されたものではない。

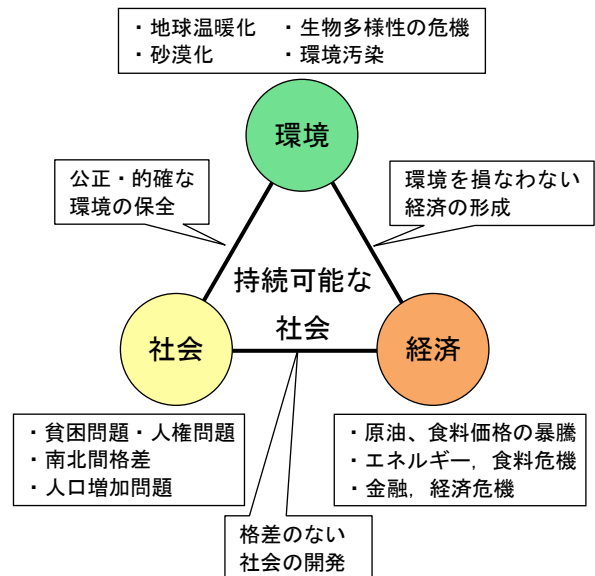


Fig.1 持続可能性の3側面
注：文献³⁾の図を編集・加筆
Three Aspects on Sustainability

また、これらの4つのカテゴリーは相互に関連する場合が多く、明確な線引きは出来ないものである。したがって、個々の技術についても、いずれか1つのカテゴリーに絶対的に所属するものではない。

2.1 環境負荷低減

一般に建設事業は、CO₂の排出、建設副産物の発生、自然環境の改変など、地球環境、地域環境に影響を及ぼしている。さらに、施工時のみならず運用、改修、解体といった全サイクルにわたって多大なエネルギーを消費している。これまでの社会基盤は、周辺の環境や地球環境の破壊の上に成り立ってきたと言える。建設分野ではこれらの負荷を低減することで持続可能性に貢献している。

時間軸として建設工事中と供用期間とに分けて、環境負荷低減の取組みを見てみる。まず、建設工事中の環境負荷には、騒音、振動、水質汚濁、廃棄物の発生、工事機械の排気ガスや解体作業に伴う粉じんによる大気汚染、建設に伴うエネルギー消費などがある。騒音や振動に対しては、これらの排出レベルの低い建設機械の活用や工法を選択することで対応している。最近、ビルの解体では周辺環境配慮型の工法が実用化されてきており、超高層ビルの解体でも活用されている。廃棄物に対しては分別化による再資源化を推進し、さらには廃棄物の最終処分量をゼロとするゼロエミッション化への取組が続けられている。エネルギー消費に対しては、工事機械のアイドリングストップ、機械燃料へのバイオディーゼルの活用などの取組みがなされている。ゼロエネルギー施工の取組みも行われている⁵⁾。工事現場事務所に、間伐材小径木を活用したシステム工法による木造仮設建築を運用する試みも行われている⁶⁾。

次いで、供用中のエネルギー消費について見る。オフィスを含む民生部門で日本のエネルギー消費の3割を占めるとされている⁷⁾。これに対して、コジェネレーションシステムなどの高効率機械の活用、太陽光や風力などをはじめとする再生可能エネルギーや地中熱の活用、昼光利用などによる内部負荷の低減、自然換気などによる外気負荷削減およびルーバーや庇の活用による外皮負荷の低減などが行われている。さらにはこれらを効率的に統合制御することで、消費エネルギーをゼロにするZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）化が推進されている。

スケール軸として、街区・地区に目を転じると、都市化によるヒートアイランド現象の問題がある。これに対しては、各種の緑化が貢献している。建築物では屋上や壁面の緑化、土木構造物ではダムや道路の法面の緑化が行われている。緑化は二酸化炭素の吸着量増加の面や、生物多様性の面にも貢献している。

既に大きな負荷を受けた状態を回復することが求められる場面もある。代表例としては工場跡地などで問題となることが多い土壌汚染がある。汚染要因や敷地の状況・特性は多様なため、その対応技術も多様で総合的なものが必要である。汚染要因は人為的なものに限らず、自然由来のものもある。最近の大規模な汚染事例としては、先の東日本大震災で津波浸水による農地の塩害の問題がある。農地再生を通じて農業の持続性にも貢献している。

2.2 省資源・資源循環

建設分野における省資源・資源循環とは、既にあるものを有効に活用することで、新たに造る場合に比べて投入する資源量を削減し、資源利用率を高めることで環境負荷の低減につながり、持続可能な社会の構築に貢献するものである。特に、我が国の建設廃棄物の現状（廃棄物の90%が産業廃棄物である。産業廃棄物の排出量の約2割が建設廃棄物であり、産業廃棄物最終処分量の約1/4が建設廃棄物で占められている。なお、最終処分場の残余容量は13.2年である⁸⁾。）を踏まえると、建設分野における省資源・資源循環の推進が重要である。

建設廃棄物に占める割合を見ると、コンクリート塊とアスファルト・コンクリート塊が高く、前者が49%、後者が31%である。両者とも平成20年度の再資源化率は98%を超えている⁹⁾。しかし、その再資源後の主たる再利用先は限定的で、前者では路盤材で、後者ではアスファルト合材で用いられているに過ぎない。さらに、コンクリート塊で見れば、路盤材を再利用先と考えている廃棄物は、他産業廃棄物の中にも数多くある。しかも、高度経済成長期に建設された多くの建設ストックが更新時期を迎え、解体に伴い多量のコンクリート塊が発生する。また、震災後の被災地におけるがれきの有効利用も課題になっている。一方、従来のような路盤材の需要拡大は見込めず、需給バランスが崩れて、余剰のコンクリート塊が発生すると予想される。

この様な情勢下で、省資源としてコンクリート中のポルトランドセメント使用量の削減の取組みや、資源循環として再生骨材の取組みが行われている。

コンクリートは、普通ポルトランドセメント、砂利、砂、水に、混和材を加えて作る。普通ポルトランドセメントは、石灰石を焼成する製造段階で大量のCO₂を発生し、その量は日本の温室効果ガス排出量の4%を占めるといわれている¹⁰⁾。混和材にはフライアッシュ、高炉スラグ、シリカフェームなどがあるが、いずれも産業副産物である。フライアッシュは



Fig.2 本特集解説での技術分類
Technical Classification in this Paper

石炭火力発電所の運転に伴い排出される灰に含まれ、フライアッシュの混和はコンクリートの流動性を向上する。高炉スラグは鉱石から鉄を精錬する際に発生し、高炉スラグの混和はコンクリート凝結時の発熱を抑制する。シリカフェームは金属シリコンの精錬時に発生し、シリカフェームの混和はコンクリートの緻密性を向上する。これらの混和材は、成分構成が普通ポルトランドセメントに近いことから、コンクリートの諸性能を損なわない範囲で普通ポルトランドセメントを混和材に置き換えれば、普通ポルトランドセメントの省資源化と産業副産物の再資源化に同時に寄与する。特に、通常よりも普通ポルトランドセメントを減らし混和材を増やしたコンクリートは、「低炭素型コンクリート」と呼ばれ、環境負荷低減にも強く貢献している。

持続的な社会を構築するためには、解体されたコンクリートは、再びコンクリートとして再利用するのが望ましい。そのために、コンクリート塊から砂利や砂を取出し、再びコンクリートの骨材として再利用する資源循環システムの構築が行われている (Fig.3)。

この他にも、代替型枠使用やプレキャスト化による型枠廃材、プレカット化による端材、省梱包による廃梱包材などの発生の抑制などが行われている。

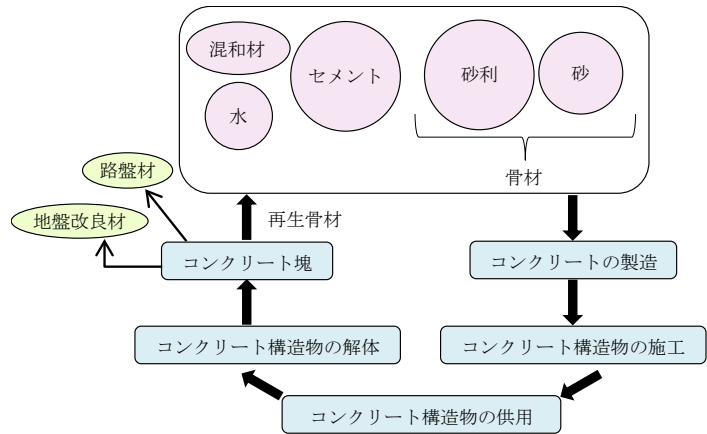


Fig.3 再生骨材によるコンクリートの資源循環
Resources Circulation of Concrete

2.3 自然共生

人間は、生態系（生物多様性）から、人間社会を継続する上で必要不可欠なサービス (Fig.4) を受けている¹¹⁾。食料、繊維、医薬品そして水の提供、作物の受粉、汚染物質のろ過、災害からの保護などは生態系から提供されているサービスである。生物多様性の構成要素が失われると、生態系の回復力は弱まり、提供されるサービスが危機にさらされる。均質で変化に乏しい環境は、疾病や極端な気候といった突然の外部からの圧力に対して脆弱である。生物多様性の損失は生態系から得られるサービスを脅かし、ひいては現在そして将来の人間の福祉にとって重大な影響を及ぼすとされている¹²⁾。

自然共生とは、これまでの人間中心の開発や行動である「人間の側から生態系を捉える」姿勢を見直し、「生態系自体を中心として捉える」ことで自然生態系と共存できる社会を目指すことである¹³⁾。

建設分野との関わりは、河川、湖沼、海岸、港湾、森林、奥山、里山、街、都市緑地と幅広い。自然の中で構造物を造るといふ行為は、そこでの生態系に何らかの影響を与えることになるが、より自然に近い形を残しながら、生態系への影響を最小限にとどめることで自然共生に貢献している。具体的には、生物多様性（貴重種）との共生、自然の保全・保護、再生・回復、生息空間の創造という関わり方となる。以下でその事例を紹介する。

共生としては、生物共生護岸の例が挙げられる。既存護岸は直立式の鋼矢板やコンクリートで整備されており、多様な生物が生息しにくい環境となっている。そこで、リニューアルや耐震補強を行う際に、潮の満ち干きがあるエリアに生物のすみかとなる潮だまりを人工的に造ることで、多様な生物生息空間を確保している。この他にも、アニマルパス、魚道、溝付き消波ブロックの例などが見られる。

保全・保護としては、自然型の調整池の例が挙げられる。調整池とは大雨の時に一時的に雨水を貯めることで水害を防ぐ人工的な池であるが、池護岸の勾配・水深を多様化させることで様々な水生植物が繁茂し、多種多様な生き物が棲むことのできる水辺空間を確保している。この他にも、自然護岸の例などがある。

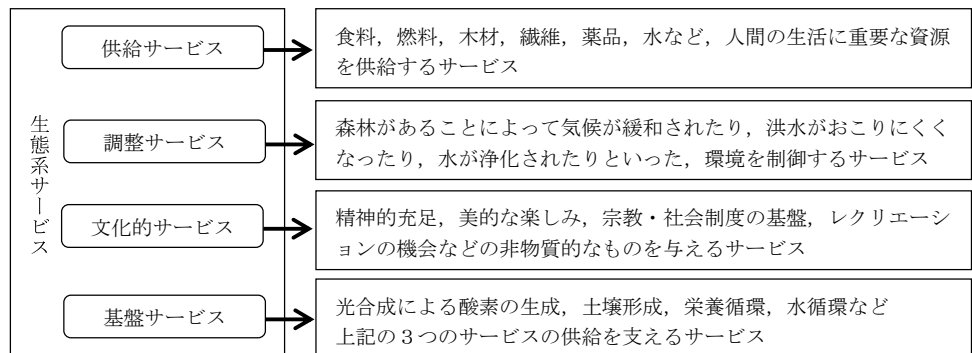


Fig.4 生態系サービス
注：文献¹¹⁾の図を編集・加筆
Ecosystem Services

再生・回復としては、盛土・切土などの法面の緑化の例が挙げられる。人工的に造成された法面や地盤に、種子の吹付けや苗の植付け、植樹などによって緑化を行っている。周辺地域の自然環境を調査・分析の上で、その地域に適した植物種を選択し、生態系のバランスや景観に配慮して行われている。この他にも、水辺環境の再生の例などが挙げられる。

生息空間の創造としては、エコロジカル・ネットワークやビオトープの例が挙げられる。シジュウカラやコゲラといった鳥類を指標として、その生息できる緑地をネットワーク化することで多様性の高い安定した都市環境づくりを行っている。都市の建物や公園内に昆虫や鳥類が生息できるビオトープが、これを補助する役割も担っている。

2.4 長寿命化

長寿命化とは、構造物を長く使用することにより、スクラップアンドビルドによる廃棄物や資源消費の削減を図ることで、持続ある社会に貢献するものである。同時に環境負荷低減や省資源にも貢献している。廃棄処分コストや維持保全コストの低減が図れることから、構造物のライフサイクルコストの低減にも貢献する。更に景観や文化財価値の維持にも寄与するものである。

長く使う上では、構造物に求められている機能上の性能の劣化、および求められている機能の変化に対処しなければならない。前者の劣化は、主として物理的な劣化であり、材料の経年劣化、疲労による構造性能の劣化、および地震に対する構造性能不足などがある。後者は、社会的な機能の劣化であり、少子高齢化による公立小中学校施設の余剰や、都市部への流入交通量の増加による道路幅員不足に起因する交通渋滞などが挙げられる。

これらの劣化に対する建設技術の取組み方としては、①高耐久化、②補修・補強、③社会的ニーズ変化への対応という方向性がある。①と②は上述の物理的劣化への対応であり、③は社会的な劣化への対応である。

高耐久化とは、構造物を構成する材料の耐久性を高めることで長寿命化するものである。物理的劣化要因は、構造物の種類・用途および設置場所により異なるが、例えば、鉄筋コンクリート造構造物にとって典型的な劣化要因である中性化や塩害に対しては、コンクリートを緻密化し劣化要因の進入速度を遅らすことで耐久性を確保することができる。建築物の場合では、仕上げ材料を高耐久性することも行われている。

既存構造物に対しての長寿命化には、機能を維持し使用し続けるための補修・補強が必要となる。ここで、補修は所用の耐用年数までの耐久性の確保や、力学性能の建設時レベルまでの回復を指し、補強は新設時よりも性能を向上させることを指す。

地震に対する補強は、特に耐震補強として扱われる。構造物を長寿命化すると、供用期間中に南海トラフ等の巨大地震や首都直下地震などの大地震に遭遇する可能性が高くなるため、耐震性を高めることが必要となる。また、南海トラフ巨大地震の被害想定¹⁴⁾では建物被害等により発生する災害廃棄物は最大で約2億5千万トン（東日本大震災の災害廃棄物量約1628万トンの約15倍）と試算されており、建物の耐震性を高めて災害廃棄物の削減を実施することが地球環境保護の観点からも重要となる。一般に、古い耐震設計基準に拠った構造物では、耐震補強が必要となる場合が多い。良く目にする事例としては、学校校舎や公共建物の窓にX型の鉄骨筋交いや、高速道路の橋脚が鋼板で巻かれている状況がある。これら地上構造物以外にも、地盤や基礎、地下構造物、盛土や切土および斜面といった土構造物、岸壁などで耐震補強が行われている。

社会的なニーズの変化により、構造物に求められる機能や用途も変化する。例えば、少子高齢化に伴う人口構成の変化により公立小中学校が余剰となる一方、高齢者施設の不足に対応するために、校舎を高齢者施設に用途変更（コンバージョン）する必要がある。土木施設では、交通量増加による交通渋滞に対して、道路橋の拡幅などの必要がある。

上記の何れの長寿命化においても、劣化状況の診断・評価技術が必要であり、物理的な劣化に関してはヘルスマモニタリングの技術開発も進められている。また、構造物を供用しながら実行することが経済的な側面から重視されるため、作業の低騒音・低振動・低粉じんを実現する技術開発が進められている。

3. 大林組の保有技術

本章では、持続可能な発展に貢献する大林組の保有技術を紹介する。ここでは、建設技術の分類として馴染みのある、6分野（コンクリート、仕上げ、構造、地盤、土壌、および環境分野）に分けて、2章で示した分類の観点から述べる。

3.1 コンクリート分野

コンクリート分野で持続性を高める技術は、「省資源・資源循環」、「環境負荷低減」、「長寿命化」に分類できる。

省資源・資源循環に寄与する技術として、特集論文で紹介している震災コ



Photo 1 海水練り・海砂コンクリート技術で製造した消波ブロック
Wave Dissipation Blocks Made with Sea Water

ンクリートがらを利用した「海水練り・海砂コンクリート」がある (Photo 1)。東日本大震災では、社会資本ストックの甚大な被害とともに、コンクリートがらをはじめとした膨大な廃棄物が発生した。社会資本ストックの再生をコストと期間の両面から効率よく行うためには、廃棄物を原材料として活用する方法や、上水だけでなく海水を練り混ぜ水に使い、その場の材料を活用していくことが求められる。本報はその一例を示したものである。また、「高品質再生骨材コンクリート」は、建物の解体時に発生するコンクリート塊や施工時に発生する残コン・戻りコンから、高品質の再生骨材を製造するための一貫した品質管理体制である。

環境負荷低減に寄与する技術として、低炭素型コンクリートである「クリーンコンクリート」が挙げられる。普通ポルトランドセメントの使用を極限まで減らし、コンクリート製造時の CO₂ 発生を抑える (Fig.5)。普通ポルトランドセメントセメントの代わりに、フライアッシュや高炉スラグと行った産業副産物を用いているため、省資源・資源循環にも寄与する。

長寿命化に寄与する技術としては、じん性を向上しひび割れを低減する繊維補強コンクリートがある。場所打ちが可能な超高強度繊維補強コンクリート (UFC) 「スリムコンクリート[®]」や、有機繊維によりせん断耐力とじん性を増した「ユニバーサルコンクリート[®]」が挙げられる。さらに、化学的耐久性を向上する技術として「耐酸コンクリート」がある。そして、劣化したコンクリートをはつりとした後の修復技術として、ポリマーセメントモルタルによる湿式吹き付け断面修復工法である「ジョッツ・クリート[®]工法」がある。

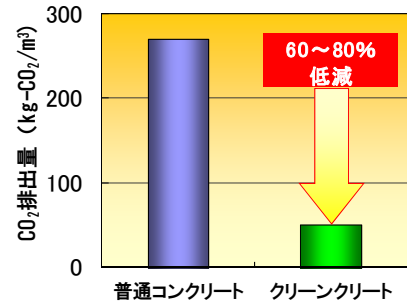


Fig.5 普通コンクリートとクリーンコンクリートにおける CO₂ 排出量の比較
Carbon Dioxide Emission of Concrete

Table 1 コンクリート関連技術の一覧
Technologies on Concrete Engineering

技術の名称	技術・工法の概要	貢献技術分類*			
		L	E	R	N
海水練り・海砂コンクリート	天然の海水および未洗浄の海砂を使用した高耐久性コンクリート。圧縮強度、遮水性の向上により、長寿命構造物の建設が可能。真水が入手できない離島、災害時などでは、CO ₂ 排出量、建設コストの削減が可能。		◎	○	
高品質再生骨材コンクリート	大林組一再資源化施設一連コン工場のネットワークを構築し、コンクリート塊、残コン・戻りコンの排出から再生骨材コンクリートの製造・打設に至るまで一貫した品質管理を行う。			◎	
クリーンコンクリート	結合材に対するセメントの混合割合を 30%以下とし、70%以上を高炉スラグ微粉末などの副産物を使用した低炭素型コンクリート。一般的なコンクリートに比べて、60~80%の二酸化炭素排出量を低減する。		◎	◎	
スリムコンクリート	圧縮強度 180N/mm ² 以上、引張強度 8.8N/mm ² 以上の常温硬化型の超高強度繊維補強コンクリート (UFC)。場所打ちが可能で、100 年の耐久性を有する。	◎			
ユニバーサルコンクリート	モルタルとポリプロピレン繊維から構成された高じん性繊維補強セメント材料。発生するひび割れ幅を微細に制御することができ、高い靱性や伸び能力、耐久性が得られる。	◎			
耐酸コンクリート	産業副産物を使用して環境負荷を低減するとともに、耐酸性能を高めた環境にやさしいセメント系材料。躯体コンクリート本体や表層に適用することで、硫酸による腐食を抑制する。	◎		○	
ジョッツ・クリート工法	湿式モルタル吹付けによる断面修復技術に液体急結剤を使用することにより、初期強度が高く、厚付けを可能にした断面修復工法。			◎	
LCC ナビ	コンクリート構造物の劣化進行を予測し、ライフサイクルコスト (LCC) を算定するシステム。新設構造物、既設構造物の LCC を考慮した最適なメンテナンス計画の策定が可能。	◎			

*L：長寿命化，E：環境負荷低減，R：省資源・資源循環，N：自然共生，◎○：貢献の度合の強さを示す

3.2 仕上げ分野

仕上げ分野で持続性を高める技術は、建築物の外装の耐久性を高める技術が中心になる。外壁タイル張りの剥離剥落を防止する技術としては、コーン状係止部材と短繊維混入モルタルを併用した「ループボンド・タフバインダー工法」があり、大林組の標準工法として広く採用されている。また下地種別に応じて使い分けができるように、各種立体繊維材料を用いた「ベースネット工法[®]」、「インターネット工法[®]」および「ウェブフォーム工法」があり、それぞれ多くの適用実績がある。塗料を溶剤系から水系に変えて揮発性有機化合物の発生を抑えた「環境配慮型水系塗装仕上げ工法」も、この分野の技術として挙げられる。

環境負荷低減技術としては、塗膜の赤外線反射性能によって建物への熱の侵入を抑制する、太陽熱高反射率塗料である

「サンバリア®」や、工場などから排出される廃発泡スチロール材をリサイクルし、骨材として主原料に用いた環境配慮型不燃吹き付け材料「セラミライトエコ G®」が挙げられる。

Table 2 仕上げ関連技術の一覧
Technologies on Interior and Exterior Finishing

技術の名称	技術・工法の概要	貢献技術分類*			
		L	E	R	N
ループボンド・タフバインダー工法	コーン状係止部材と短繊維混入モルタルを用いて外壁タイルの剥落を防止する工法。大林組の標準工法である。	◎			
ベースネット工法	立体網目不織布を用いて外壁タイルの剥落を防止する工法。主に押出成形セメント板やALCパネル下地で適用される。	◎			
インターネット工法	立体編布とアンカーピンを用いて外壁タイルの剥落を防止する工法。主に外壁改修工事で適用される。	◎			
ウェブフォーム工法	コンクリート表面に打ち込んだ特殊繊維シートを用いて外壁タイルの剥落を防止する工法。割肌調など厚みのあるタイルに使用するのが望ましい。	◎			
環境配慮型水系塗装仕上げ工法	VOCを限りなくゼロに近づけた。膨れ防止型の高意匠性水系塗装。軽量PC板にも適用可能。		◎		
サンバリア	太陽光に由来する赤外線を選択的に反射する次世代型省エネ塗料。		◎		
セラミライトエコ G	不燃材料として大臣認定を取得した、現場吹付け型リサイクル断熱材。原料に発泡スチロールの廃材を利用し、ノンフロンで環境にやさしい建材。		◎	○	

*L：長寿命化，E：環境負荷低減，R：省資源・資源循環，N：自然共生，◎○：貢献の度合の強さを示す

3.3 構造分野

構造分野で持続性を高める技術は、耐震・制振・免震技術のように「安全・安心」に寄与する技術と、耐震補強のように構造物の「長寿命化」に寄与する技術が主体となる。「安全・安心」については大林組技術研究所報¹⁵⁾の特集として取り上げているため、今号では主に「長寿命化」に寄与する技術について取り上げる。

前章で述べたとおり、構造物の長寿命化の実現には、①高耐久化、②補修・補強、③社会的ニーズ変化への対応という方向性がある。

高耐久化の技術として、「スリムクリート製防風柵」がある。材料に緻密で耐久性が高い超高強度繊維補強コンクリート「スリムクリート」を使用することにより、100年に及ぶ寿命を達成している。スリムクリートは、常温硬化型であり現場打設が可能という特性を活かして耐震補強にも活用している。「スリムクリート耐震補強工法」は、現場でスリムクリートを柱に巻き立てて断面増加量を抑えて補強できる工法である。

耐震補強技術としてはその他に、「スーパー板壁工法」、「マルチプルナットバー®」、「3Q-Wall®」、「ガラス制振壁」などがある。「スーパー板壁工法」は、文化財として価値の高い伝統木造建物などを対象に、板壁を積み上げて耐震性能を飛躍的に向上させる工法である。「マルチプルナットバー」(Fig.6)は面外せん断耐力が不足している鉄筋コンクリート壁などを補強すると施工せん断補強工法である。「3Q-Wall」は小型のブロックを組積して構築する耐震補強壁を既存建物に強固に接着させる工法であり、従来のあと施工アンカーの打設、型枠の組立ならびに解体、コンクリートの打設などの作業が不要になるため、低騒音かつ低振動施工、工期短縮、高品質を実現できる。「ガラス制振壁」(Fig.7)は透明なガラスとダンパーを組み合わせた制振、耐震構法である。開放的な空間を創出することができ、意匠性に優れている。

社会的ニーズの変化に応える技術として、「スムーズボード®」による高欄リニューアル工法、「ハリトース工法®」、「ウォータージェットシステム」などがある。「スムーズボードによ

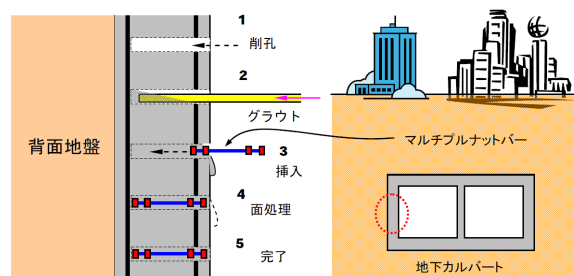


Fig.6 マルチプルナットバー
Multiple Nuts Bar

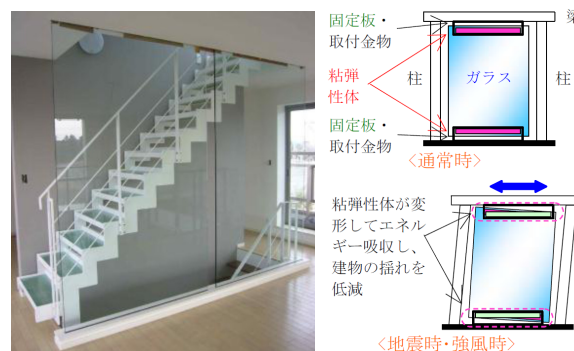


Fig.7 ガラス制振壁
Clear Damping Wall with Glass and Viscoelastic Material

「高欄リニューアル工法」は既設の鉄道ブロック高欄に高じん性ボード「スモースボード」を貼り合わせることで、既設高欄を補強するとともに、嵩上げすることにより列車の高速化によって必要となった防音効果を高めることができる。「ハリトース工法」は、工場で予め L 型に成型された炭素繊維強化プラスチック板を用いて、既存鉄筋コンクリート梁の貫通孔を補強する工法である。「ウォータージェットシステム」は、リニューアル工事中の激しい振動、騒音、粉塵などを解決するため、ウォータージェットの高い切削性、品質安定性、ノズルの移動のみで各種の作業に適用できる汎用性に着目し、コンクリートの目粗しやはつり作業を可能にした工法である。

Table 3 構造関連技術の一覧
Technologies on Structural Engineering

技術の名称	技術・工法の概要	貢献技術分類*			
		L	E	R	N
スリムクリート製防風柵	高耐久性が特長である超高強度繊維補強コンクリート「スリムクリート」を使用して耐久性を高めた防風柵。	◎			
スリムクリート耐震補強工法	常温硬化型超高強度繊維補強コンクリート「スリムクリート」で既存 RC 柱を巻き立て容易に耐震補強できる工法。被災柱を対象にした復旧工事にも適用可能。	◎	○		
スーパー板壁工法	寺社など伝統木造建築の耐震補強技術。耐震要素として、伝統的な落とし込み板壁工法と同等の意匠性・耐久性を持ちながら、壁倍率 10 倍という構造用合板以上の耐震性をもつ。	◎	○		
マルチプルナットバー	地下カルバートなど地中構造物の面外せん断補強工法。1 本当たりの強度を高めて、施工効率を向上させ、コストダウン。	◎	○		
3Q シリーズ	既存 RC 建物を対象にした耐震補強技術。低騒音、低振動を実現するため、既存躯体との接合部は接着工法を採用している。壁を構築する 3Q-Wall、ブレースを設置する 3Q-Brace などバリエーションが豊富。	◎	○		
ガラス制振壁	透明なガラスと地震時のエネルギーを吸収するダンパーを組み合わせた制振、耐震構法。ガラスを用いることで優れた意匠性を実現でき、新築のみならず既存建物の耐震補強にも適用可能。	◎	○		
ブレーキダンパー	摩擦力を利用した制振装置で、長周期地震動に対する耐久性を十分に持つ。低コストタイプ、風揺れ低減装置をも組み込んだタイプ、既存建物補強に特化したタイプ、橋脚用に可動範囲を大幅に拡張したタイプなど、バリエーションも豊富。	◎	○		
スモースボードによる高欄リニューアル工法	薄型の高靱性セメントボード（スモースボード）と既存の高欄を有効利用して補修および嵩上げ可能な高欄リニューアル工法。列車運行に影響が少なく低コストで短工期。	◎	○		
ハリトース工法	リニューアルに伴い設備配管用の貫通孔を新たに設けた梁に対し、貫通孔周囲の梁側面に炭素繊維強化プラスチック板を接着することで、梁部材のせん断耐力を上昇させる補強工法。	◎	○		
小型ウォータージェットシステムを用いた 3Q-Joint 工法	既存 RC 建物を対象に、低騒音・低振動の小型ウォータージェットシステムを用いて接合面の目粗しを行い、目粗し深さを管理することで既存建物と補強部材の一体性を向上させ、あと施工アンカーの打設量を低減させる工法。	◎	○		

*L：長寿命化，E：環境負荷低減，R：省資源・資源循環，N：自然共生，◎○：貢献の度合の強さを示す

3.4 地盤分野

地盤分野で持続性を高める技術は、「長寿命化」および「環境負荷低減」に寄与する技術が主体となる。

長寿命化には、経年劣化の防止および地震や洪水などの突発的な事象を想定して、新設時に予め設置しておく技術と、既存の構造物を補強して長寿命化を図る技術とがある。

前者の技術として、「アクアソイル-F」[®]、「リバーベント[®]工法」[®]、「D&S アンカー工法」などがある。管理型海面廃棄物処分場では、潮位の変動などの繰り返し荷重によって鋼管矢板に生じる変形により、鋼矢板継ぎ手部の遮水材に亀裂が発生して遮水性能が低下することがある。「アクアソイル-F」(Fig.8)は、鋼矢板の変形に対して柔軟に追随する遮水材で、これによって継ぎ手部の遮水性能を長期的に維持することが可能となる。

河川堤防は、堤体内に河川水が浸透することで強度が低下する。「リバーベント工法」(Fig.9)は、ベントナイト混合土を充填したマットを堤体表面に敷設することで堤体内への河川水浸透を抑制し、洪水時の堤防決壊を防止する技術である。マット表面を緑化することも可能で、景観保護にも寄与できる。

地盤アンカーで補強した斜面では、アンカー体と地盤の間のクリープなどを原因としたアンカー緊張力の経時的な低下が、斜面の安定性に直接影響を与えるため、アンカー緊張力の保持が斜面の維持管理における課題の 1 つとなっている。「D&S アンカー工法」は、長期的にアンカー緊張力を保持させることを目的として、アンカー頭部に皿ばねを設置した工法である。

後者の既存の構造物を補強して長寿命化させる技術として、「2 段タイ材地下施工法」[®]、「狭隘地で施工可能な地盤改良

併用鋼管杭工法」などがある。「2段タイ材地下施工法」は既設岸壁を供用しながら、その前面矢板を再利用して、水深増や荷重増等の機能強化や耐震補強を図る技術である。特集論文で紹介する「狭隘地で施工可能な地盤改良併用鋼管杭工法」は、コンパクトな機械攪拌式施工機械「e-コラム工法[®]」を用いて施工する、地盤改良を併用した鋼管杭工法で、敷地や工程などの制約を大きく受ける駅舎などの耐震補強における杭工事に対応が可能である。また、施工時の騒音や建設発生土を抑制し、周辺環境にも配慮した工法である。

環境負荷低減に寄与する技術として、「通水性能を確保する地中連続壁工法」、「水平力を負担する既存杭の活用技術」、「分散型 CO₂ 地中貯留技術」などがある。

地中構造物を新たに構築することで、それまでの自然の地下水の流れを分断し、地下水環境に無視できない変化を与えてしまう場合がある。「通水性能を確保する地中連続壁工法」は、遮水連続壁に集水フィルター層と通水管を設置して地中構造物による地下水流の分断を防止する工法である。

建物建て替え時に、既存杭を新設杭と同様に再利用できれば、既存杭の撤去に伴い排出する大量の廃棄物や CO₂ の削減と同時に、工期短縮・ローコスト化等の効果も期待できる。現時点では、鉛直力の負担を期待した活用方法が主流であるが、特集論文「水平力を負担する既存杭の活用方法」では、より一層の既存杭の活用拡大のために、主に水平力の負担を期待する既存杭の活用方法について示し、その効果や特性、傾向について検討している。

地球温暖化への一つの対策方法として、CO₂ を地中貯留する技術である CCS (Carbon Dioxide Capture and Storage) に期待がかかってきているが、大規模でコスト高となる側面がある。特集論文「分散型 CO₂ 地中貯留の可能性について」は、マイクロバブル化した CO₂ を地中貯留 (CMS) することで小規模分散・低コスト化を図る技術を紹介し、我が国の有望な貯留層の貯留可能量評価などの項目から事業可能性を検討したものである。

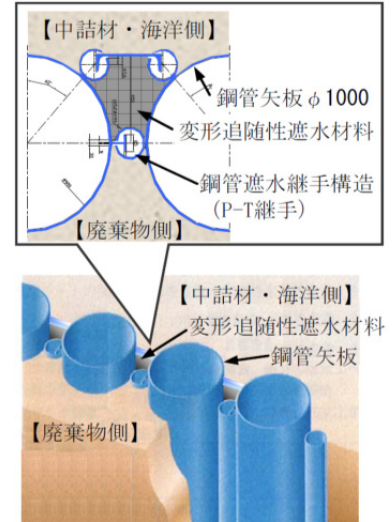


Fig.8 アクアソイル-F
AQUASOIL-F

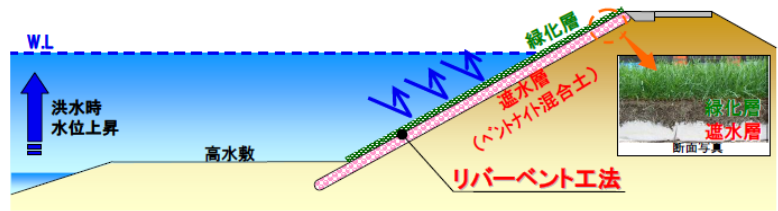


Fig.9 リバーベント工法
River Embankment Reinforcement with Covering Clay Mat

Table 4 地盤関連の技術
Technologies on Geotechnical Engineering

技術の名称	技術・工法の概要	貢献技術分類*			
		L	E	R	N
アクアソイル-F	管理型海面処分場における、潮位の変動などの繰り返し荷重によって鋼管矢板に生じる変形に対して柔軟に追従し、継ぎ手部の遮水性能を維持できる変形追従性遮水材。	◎	○		
リバーベント工法	ベントナイト混合土を充填したマットにより、堤体内への河川水浸透を抑制し、洪水時の堤防決壊を防止する技術。マット表面の緑化で景観保護にも寄与。	◎			○
D&S アンカー工法	斜面に打設されたアンカーの維持管理における課題である、長期的なアンカー緊張力の低下を防止するためにアンカー頭部に皿ばねを設置した工法。	◎			
2段タイ材地下施工法	既設岸壁を供用しながら、その前面矢板を再利用して、水深増や荷重増等の機能強化や耐震補強を図る技術。	◎	○		
狭隘地で施工可能な地盤改良併用鋼管杭工法	コンパクトな機械攪拌式施工機械 (e-コラム工法 [®]) を用いて施工する、地盤改良を併用した鋼管杭工法。	◎	○		
ピンナップ工法	既存の石積壁を対象とした補強工法で、軽量・コンパクトな施工機械を用いた比較的簡易な施工方法により石積壁の耐震性の向上を図る。	◎			
通水性能を確保する地中連続壁工法	遮水連続壁に集水フィルター層と通水管を設置した、周辺地下水の流動阻害対策工法。		◎		○
水平力を負担する既存杭の耐震特性解析技術	既存杭に水平力の負担を期待する場合の耐震特性に関する解析技術。		◎	○	
マイクロバブルを用いた分散型 CO ₂ 地中貯留技術	CO ₂ を地中貯留する CCS 技術の課題である大規模・高コストの解決策として、マイクロバブル化した CO ₂ を溶解状態で浅部地層 (深度 300m~500m) に貯留し、規模分散、低コスト化を図る技術。		◎		

*L：長寿命化，E：環境負荷低減，R：省資源・資源循環，N：自然共生，◎○：貢献の度合の強さを示す

3.5 土壌分野

土壌関連の持続性を高める技術は、「環境負荷低減」に寄与する技術が主体となる。

環境負荷を低減するものとして、汚染土壌の浄化技術がある。主な汚染物質には、カドミウムや鉛などの重金属、トリクロロエチレンやテトラクロロエチレンなどの VOC（揮発性有機塩素化合物）、ベンゼンを含む油類などがある。汚染物質の種類や、施工規模・土質・施工時期などの現場施工条件に応じた対応技術を揃えている。ここでは、対象汚染物質ごとに対応技術を示す。

重金属に対しては、無害な薬剤溶液を汚染範囲に注入し、地下水中に溶解した重金属を安定化させて汚染濃度を低下させる「メタガード®」(Fig.10)がある。土地利用や経済性などの問題から、地下水の汚染源となっている範囲を掘削除去することが困難な場合に適している。

VOC や油類に対しては、地盤中の微生物を活性化することで、大型重機を用いずに浄化できる技術を揃えている。

VOC に対しては、地盤中に「クロロクリン®」を注入することにより、微生物を活性化させて分解浄化する。クロロクリンは、主成分が食品添加物であり極めて安全な資材である。メタガードと同様、汚染範囲を掘削除去することなく、原位で浄化できる技術である。

油類に対しては、掘削した汚染土壌に特殊資材を加えてパイル（畝）をつくり、微生物を活性化させて効率よく油類を分解する「バイオヒートパイル®」がある。季節を問わず最適な温度を保つことで、効率よく分解でき、多種の油類に対応可能である。また、汚染地盤に空気を送り込み、地盤中の微生物を活性化して主にベンゼンや軽油等を分解する「バイオスパージング」も保有している。掘削しないので地上部の利用が可能で、騒音・振動がほとんどなく、周辺環境への影響が少ない。

これらに加え、先の東日本大震災の津波で塩害化した農地の除塩技術がある。木質系の震災廃棄物を基とする木材チップを農地に混合し透水性を高めることで、雨水による除塩を行う技術である。

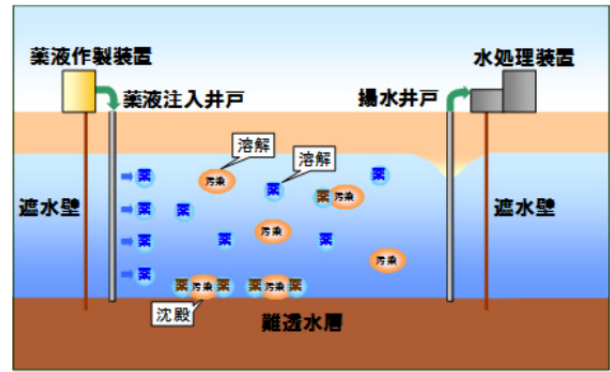


Fig.10 メタガード概念図
Meta-guard Method

Table 5 土壌関連技術の一覧
Technologies on Soil Engineering

技術の名称	技術・工法の概要	貢献技術分類*			
		L	E	R	N
メタガード	重金属汚染範囲に無害なメタガード液を浸透させ、地下水中に溶解した重金属を安定化(沈殿)させて、地下水中の汚染濃度を低下させる工法。土壌掘削を伴わず、低コストである。		◎		
クロロクリン	VOC (揮発性有機塩素化合物) 汚染地盤に「クロロクリン」を注入することにより、地盤中の微生物を活性化し、VOC を分解浄化する工法。		◎		
バイオヒートパイル	掘削したベンゼン汚染土壌に特殊資材（ヒートコンポ）を加えてパイル（畝）をつくり、微生物活動を活発にして、効率よくベンゼンを分解する工法。1年を通じて施工でき、工期を短縮する。		◎		
バイオスパージング	地盤に空気を送り込み、ベンゼンや油類を除去すると同時に、地盤中の微生物を活性化してベンゼンや油類を分解する工法。掘削や運搬が不要なため、環境に優しい浄化工法。		◎		
塩性土壌改良技術	東日本大地震の津波により塩害を受けた広大な農地に木材チップと補助材を混合・攪拌し、脱塩する工法。特殊な設備を要さず、雨水のみで脱塩するので非常に経済的である。		◎		

*L：長寿命化，E：環境負荷低減，R：省資源・資源循環，N：自然共生，◎：貢献の度合の強さを示す

3.6 環境分野

環境分野で持続性を高める技術は、「環境負荷低減」が主体となるが、環境特有の分野として「自然共生」が挙げられる。ここでは「環境負荷低減」と「自然共生」、および環境面からみた「長寿命化」に寄与する技術について取り上げる。

環境負荷を低減する技術には、「環境性能を向上させる技術」、「負荷を低減する技術」、「エネルギー消費を低減する技術」、「広域・長期に及ぶ影響の対策技術」がある。

このうち、環境性能を向上させる技術としては、スタジアムの芝の設計と管理を支援する「ターフシミュレータ®」がある。建設地の気候条件などから芝の成長の事前シミュレーションを行うことができ、事前の芝種の選択や照度設計を可

能としている。また、水膜シートの気化熱により屋外空間を冷やす「アクアキャンバス®」(Photo 2)は、通過する風の温度を2℃程度下げただけでなく、水を見せて「涼」を感じさせることのできるスクリーン式の看板である。

負荷を低減する技術としては、発破掘削トンネル施工時に発生する発破音を低減する「ブラストサイレンサー®」がある。トンネルの抗口に設置する消音機で、従来の防音扉の3倍以上の低減効果がある。さらに、施工時の周辺環境への影響を低減する技術として、工事騒音を監視・判別・通知する「音ジャッジ®」がある。騒音源が敷地内からの騒音か敷地外の騒音なのかを判別したり、どの重機が原因なのかを特定したりすることができるので、必要な対策を即時に立案・実行に結びつけられる。

エネルギー消費を低減する技術としては、データセンターのサーバーからの熱排気を効率的に除去する省エネルギー性の高い空調システム「クールエアキャプチャ®」(Fig.11)や、夏冷たく冬暖かい地中熱をヒートポンプを介して冷暖房に利用する「地中熱ヒートポンプシステム」がある。

ともに、エネルギー消費量を減らせる技術である。

広域・長期に及ぶ影響の対策技術の例としては、最大100km程度の領域までの屋外熱環境を予測することができる「Appias®(アッピアス)」(Fig.12)などがある。

建設業が自然共生に寄与できる技術には、生態系(生物多様性)に配慮する技術、自然空間の創出とその評価を行う技術、などがある。

生態系(生物多様性)に配慮する技術としては、建設計画地の生物多様性を確保または回復することを目標とした、生物誘致環境評価システム「いきものナビ®」がある。GIS(地理情報)を活用した計画地のエコポテンシャルを評価およびチャート化し、生物情報のデータベースと照合することにより、計画地に相応しい生物誘致環境を創出することにより貢献する(Fig.13)。

また、自然空間の創出とその評価を行う技術としては、身近な場所に生き物呼び寄せ「ビオトープ」(Photo 3)がある。周辺の自然環境を踏まえ、誘致する生き物や目標とする風景を設定し、動植物の生息空間を確保することができる。

また、建物緑化や都市緑化の効果を多面的に評価する「みどりの評価技術」は、生物多様性のみならず、熱環境、炭酸ガス吸収能力なども評価し、建物価値の向上や環境CSRを高める方向性を導き出すことができる。

最後に、長寿命化に関連する技術としては、特集論文でも紹介した放射性廃棄物地層処分場のバリアに関する



スクロール中のスクリーン スクリーン表面の水滴

Photo 2 アクアキャンバス Aqua-Canvas

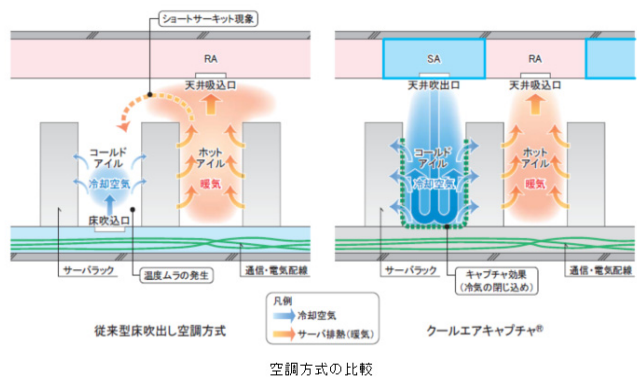


Fig. 11 クールエアキャプチャ Cool-Air Capture

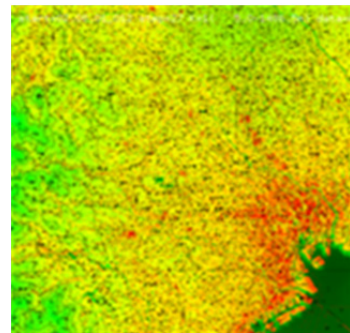


Fig. 12 アッピアスによる広域屋外熱環境予測 Numerical Result of Appias

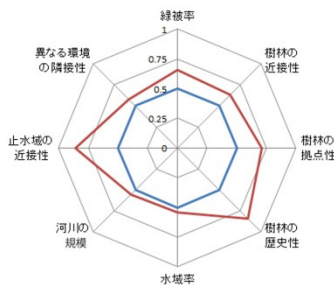


Fig. 13 エコポテンシャルのチャート化 Chart-izing of eco-potential



Photo 3 ビオトープ Biotope

技術がある。地中に埋設する放射性廃棄物の影響が外の環境に対し、数万年にも渡って影響を及ぼさないようにする必要があり、バリアとして用いるベントナイト層の長寿命化に関する研究を進めている。この技術は、広域・長期に及ぶ影響の対策技術、すなわち環境負荷低減技術でもある。

Table 6 環境関連技術の一覧
Technologies on Environmental Engineering

技術の名称	技術・工法の概要	貢献技術分類*			
		L	E	R	N
ターフシミュレータ	スタジアム建設地の気象条件、スタジアム形状から芝の生長を予測するプログラム。芝の生長・衰退をシミュレーションすることでスタジアムの設計を支援する。	○	◎		
チップクリートを用いた低管理型緑化工法	木片チップとセメントを混ぜ合わせたチップクリートと低管理型の植物を組み合わせて配置することにより、河川堤防等の緑地の維持管理費用を大幅に削減し、長期に健全な状態で維持する。	◎	○	○	○
タイヒシャトル工法	ダム現場などで発生する建設副産物（脱水ケーキ・伐採材）を有効利用し、発酵処理を施すことで短期間に良質な緑化用土を製造し、のり面を緑化することが可能な新工法。		○	◎	
石炭灰の有効利用技術	石炭火力発電所等から発生する石炭灰を産業廃棄物として処分せず、セメントと助材により改良固化し、防潮堤盛土材などに有効利用する工法。		○	◎	
アクアキャンパス	回転する水膜シートの気化熱により屋外空間に涼をもたらす外構サイン。スクリーンによる冷却効果のほか、外構サイン、防風装置としての機能も併せ持つ。		◎	○	
打ち水ペープ	気化熱を利用して空間を冷却する湿潤路面。舗装の温度を下げ、ヒートアイランド現象や熱中症の原因となる暑熱環境の悪化を改善する。		◎	○	
ブラストサイレンサー	発破掘削方式の山岳トンネルの施工現場で発生する発破音を低減するための消音技術。音響管の共鳴現象の利用により、約 15dB の低周波音の低減効果（体感的には半分以下）がある。		◎		
音ジャッジ	工事現場からの騒音を監視し、騒音源を突き止めて必要な対策を迅速に実施するためのシステム。敷地内からの騒音なのか敷地外の騒音なのかを判別する。		◎		
クールエアキャブチャ	サーバー室を対象とした冷気を上から供給する次世代の高効率空調システム。従来の床吹き出し空調方式に比べて約 25%の省エネ効果が期待できる。		◎		
インターロック式ペリメータ換気システム	窓面で取得した熱を熱だまり用チャンバに滞留させ、インターロック式扉を開閉動作してこれを屋外に排出するシステム。窓面から回収した熱を空調機で処理するためのエネルギーを必要としない。		◎		
地中熱ヒートポンプシステム	夏冷たく冬暖かい地熱エネルギーを、ヒートポンプを介して冷暖房などに利用する技術。高効率タイプの地中熱交換機を用いた新しい地中熱利用法を実用化している。		◎	○	
Appias（アピアス）	建物周りの屋外熱環境を予測することができるシステム。個々の建物から街区全体まで、さまざまなスケールでの現象に対応しており、ヒートアイランド対策効果の確認も行える。		◎		
いきものナビ	計画地の生物多様性を確保または回復し、エコポテンシャルをアップさせることを目標とするシステム。計画地のエコポテンシャルを評価して生物データベースと照合し、計画地に相応しい生物誘致環境創出に貢献する。				◎
ビオトープ	動植物の生育生息する空間づくりを行う技術。周辺の自然環境を踏まえて、誘致する生き物や目標とする風景を設定し、自然と共生する空間づくりを行う。	○	○		◎
みどりの評価技術	建物緑化、都市緑化の様々な効果を多面的に評価する技術。シミュレーション等の事前評価だけでなく、実測データなどを組み合わせることにより、根拠ある設計提案が可能。	○	○	○	◎
地層処分ベントナイト層の長期耐久性の評価技術	放射性廃棄物処分場では、廃棄物埋設後数万年にも及ぶ長期間の安全性が求められる。バリアとして用いられる材料の長期耐久性に関する評価技術。	◎	○		

*L：長寿命化，E：環境負荷低減，R：省資源・資源循環，N：自然共生，◎○：貢献の度合の強さを示す

4. おわりに

社会の持続性は、環境的側面、経済的側面、社会的側面が相互に複雑に影響しあっている。これら3つの側面の持続可能性が均衡することで初めて持続可能な発展が実現することから、耐久性や省エネルギーなどを向上させることは、持続可能な社会の構築にとって必要条件であるが、必ずしも十分条件になっているとは言い難い¹⁶⁾。すなわち、ある問題解決の技術が、環境・物理的な側面からは最善であっても、これにより例えば雇用が大きく失われるという社会的な影響も予想されるからである。

今回の所報では「持続可能な社会の構築に貢献する技術」を特集のテーマとして、大林組の取組を紹介した。今回の特集で紹介した各種の技術は、この3側面の内、主として環境的側面に軸足をおくものである。これらの技術が必要十分な条件を満たしているのかは、今後も継続的なモニタリングと検証が必要と考えている。

社会的側面や経済的側面は、施策や制度に関わることで、建設業や建設技術のみで実行・解決できない範囲もある。しかし、建設技術が持続可能な社会の構築へ更に貢献していくためには、技術・工法の貢献・影響を局所的に、短期的な指標・評価に留まることなく、より全体的・包括的に、より長期的に捉えて行くことが必要と考える。

参考文献

- 1) 三橋規宏：サステナビリティ経営，講談社，2006.11
- 2) 国立国会図書館調査及び立法考査局：持続可能な社会の構築 総合調査報告書，2010.3，
<http://www.ndl.go.jp/jp/data/publication/document/2010/20090401.pdf>
<http://www.ndl.go.jp/jp/data/publication/document/2010/20090402.pdf>
- 3) 河口真理子：持続可能性「Sustainability サステナビリティ」とは何か，DIR 経営戦略研究，2006年夏季号，Vol.9，
<http://www.daiwa-grp.jp/csr/publication/pdf/060807csr.pdf>
- 4) 国土交通省：国土交通白書 2012 平成 23 年度年次報告，2012
<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h23/hakusho/h24/index.html>，
- 5) ケンプラッツ：2020 年までに建設のエネルギーをゼロに，大林組，
<http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/building/news/20120323/563077/>
- 6) 国土交通省：平成 24 年度 住宅・建築関連先導技術開発助成事業 木材循環利用による ECO サイトハウスの技術開発，
http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/sendou/h24gaiyou_souhyou/pp13.pdf
- 7) 経済産業省 資源エネルギー庁：エネルギー白書 2013，
<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2013energyhtml/index.html>
- 8) 国土交通省：建設リサイクルの現状と今後の課題について，
http://www.zenken.com/kensyuu/kousyuukai/H24/591/591_hatakenaka.pdf
- 9) 国土交通省：平成 20 年度建設副産物実態調査結果参考資料，
<http://www.mlit.go.jp/common/000121183.pdf>
- 10) 経済産業省製造産業局住宅産業窯業建材課：平成 20 年度中小企業支援調査 セメント産業における非エネルギー起源二酸化炭素対策に関する調査－混合セメントの普及拡大方策に関する検討－報告書，2009.3.
http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/jyutaku/downloadfiles/H20fy_kongocement_houkoku.pdf
- 11) (一社)日本建設業連合会：生物多様性保全と持続可能な利用の実践，
http://www.nikkenren.com/activity/pdf/environment/panf01_bio.pdf
- 12) 環境省：地球規模生物多様性概況第3版
<http://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/library/files/GBO3.pdf>
- 13) 大場真：自然共生という思想，国立環境研究所ニュース，pp.9-11，Vol.27，No.2，2008.6
- 14) 中央防災会議 防災対策推進検討会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキング：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告）－施設等の被害－【定量的な被害量】，2013.3，
http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20130318_shiryo2_2.pdf
- 15) 大林組技術研究所報，No.76，2012，
<http://www.tri.obayashi.co.jp/tritech/syohou/ichiran/index.html>
- 16) 野城智也：「サステナビリティとは」，建材試験情報 9，2005，
http://www.jtccm.or.jp/library/jtccm/public/b-number/0509_tokushu1.pdf