

低炭素社会に向けた 環境調和型材料の開発 (ポーラスコンクリートの可能性を探る)

一般社団法人・グリーンコンクリート

研究センター・技術顧問

元 近畿大学教授、JCI名誉会員

玉井 元治



第1回国連環境会議

- 1992年6月 リオで国連環境会議を開催

人類の持続可能な発展を目指し、生物多様性条約が157ヶ国によって署名され、1993年12月に発効した。

目的:

生物種の保全と遺伝資源や熱帯雨林保護
CO₂ の削減、砂漠化と海洋汚染防止、
気候変動の阻止等

我が国の環境基本法

- 1993年11月、21世紀の地球環境に相応しい環境基本法が成立。

基本概念：国民が健全で恵み豊かな環境の恵沢を、現在および将来の世代が享受できるように努めるとともに、人類共有の生存基盤である有限な地球環境を将来にわたり維持する。

人類の(Sustainable Development) 持続可能な発展を目指し、地球を汚染せず動植物との共生を図り、自然浄化能を回復させる。

21世紀の地球環境問題

Sustainable Development of Mankind

人類の持続可能な発展)を阻害する課題

リオ+20会議(2012年)

- 1 二酸化炭素、メタンガス排出の抑制
海洋の保全、熱帯雨林の保護、砂漠化の阻止
- 2 気候変動に発展
豪雨と干ばつの繰り返し、海面上昇
- 3 多様性生物の減少
5,000~8,000万種のうち毎年0.3~0.5% 死滅
- 4 北極圏グリーンランドの氷が解凍

対策: 低炭素型社会の構築が必要

日本の炭素系原材料の輸入

- 石油: 2億4,500万トン = 15億4千万バレル
1ドル上がると1,310億円
25ドル上がると3兆2,700億円(¥80/1\$)
現在100ドル/brr, 13兆7,500億円
- 石炭: 1億6,300万トン(100ドル/t): 1兆6,300億円
- 天然ガス: 7,000万トン(540ドル/t): 3兆7,800億円
合計 17兆7,730億円
- 2010年CO₂排出量(306億トン)
中国: 90億トン、USA: 65億トン、ロシア: 25億トン
日本: 13億トン、インド: 25億トン
2020年の日本の公約
1990年比 -25% (現在比 -31%, 即ち9億トン)

石油エネルギーは徐々に減少

- USAオバマ大統領の **Green New Deal 政策**とシェールガスへの転換により脱石油化が進む。
- JPNは脱原子炉で**低炭素社会の構築**を図る。
- この提案は、世界の社会構造が急変する。
- BRICSへと資金や物が流れる。
台風の目は中国とインド、ブラジルとなる。
- 石油化学からシェールガス化学になり、アスファルトは徐々にナフサ化され、注文生産される。
- アスファルトが高騰し近い将来**道路行政が変わる。**

セメント業界の動向

- 生産高 1990年 8,700万トン
2010年 4,000万トン
- 大手各社 2010年の予定
 - 太平洋: 3工場生産を中止、生産能力を3割削減
 - 住友大阪: 15%削減(予測)
 - 三菱マテ: 全生産能力の7%削減
 - 宇部興産: 設備1基休止し2割削減
 - トクヤマ: 生産設備1基休止し3割削減
- 2月の国内販売量は33ヶ月連続前期割れを記録

セメント協会の現況

- 早期に固まるコンクリートの研究をRCCCPやポーラスコンクリート舗装を対象に試験施工を行っている。
- しかし、セメントの製造時に排出するCO₂の排出量はトン当たり700kg程度である。
- 2009年度のセメント生産量は4,300万トン
(ピーク時の約1/2、CO₂の排出量は約3,000万トン)
- 汚泥、焼却灰などの廃棄物利用と燃料に廃タイヤ、プラスチック廃材など可燃性ごみを使用。
- エコセメントの安全性に疑問

全国生コン工業組合連合会

ピーク時1990年度の総出荷量:約2億 m^3

工場数:5,100工場

1工場出荷量:3,900 m^3

- 2009年の生コン総出荷量:8,905万 m^3

工場数:3,900工場

1工場出荷量:2,200 m^3

過去20年で最低を記録、

12月の前年同月比15%減の819万 m^3

34ヶ月連続で前年実績を下回った。

2015年3月までに1,200工場を閉鎖する計画

全生工組の方針

- コンクリート舗装 (CP) は1960年代30%
1970年代10%
1980年代から5~6%

2010年から

国交省はアスファルト不足によりCPを見直す

- CPはアスコン舗装よりLCCが安い
- 長寿命化で環境に優しい
- POCは洪水対策、ヒートアイランドの抑制
- コンクリート系は資源循環できる

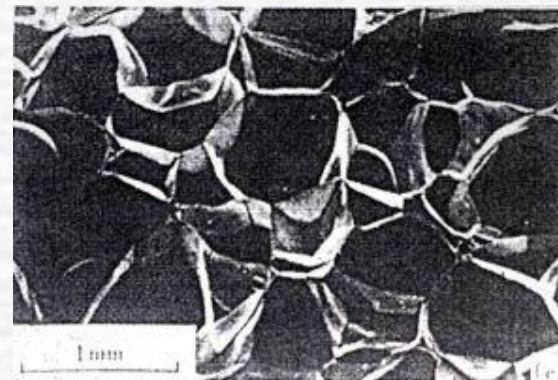
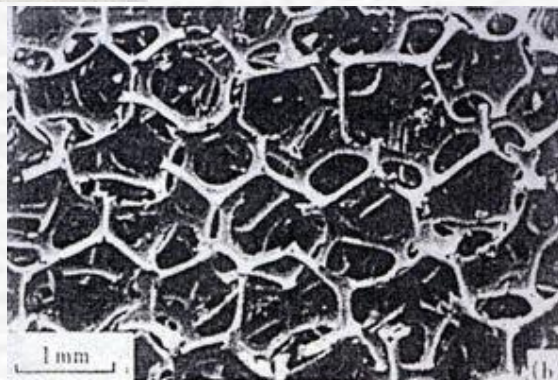
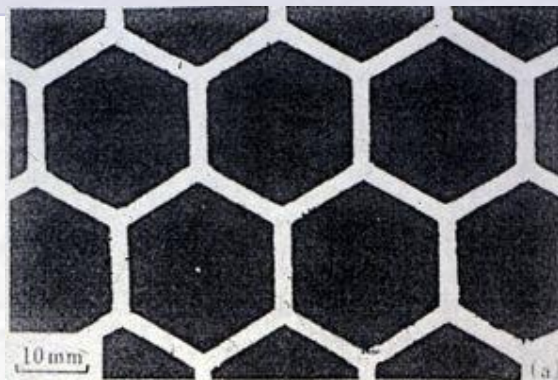
エコマテリアルの概念

- ① 地球温暖化の防止に貢献する
 - (低炭素型・環境負荷低減型)材料
- ② 人類の活動圏を広げ、活動環境を拡張
 - (フロンティア)する材料
- ③ 人類の活動圏と生物環境との調和または創造
 - (環境調和性)する材料
- ④ 活動圏の中で生活環境に豊かさや癒し
 - (アメニティ性)を与える材料
- ⑤ 循環型社会の構築
 - (リサイクル性)ができる材料

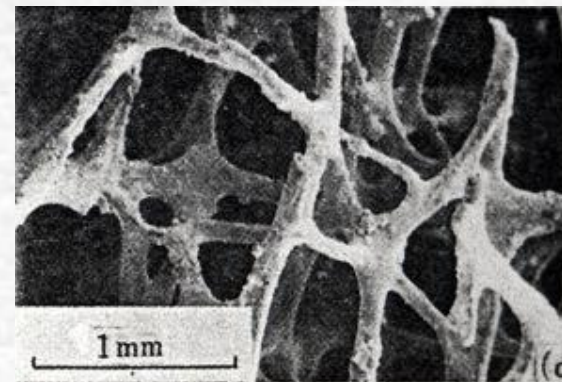
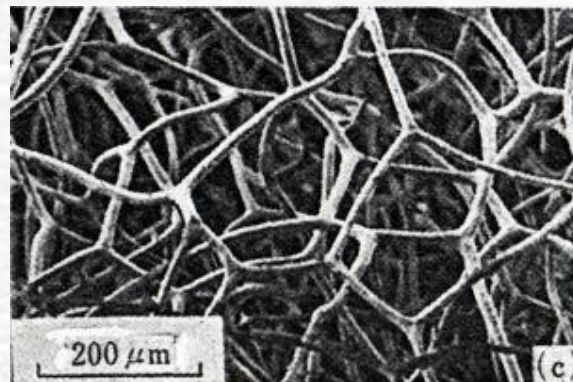
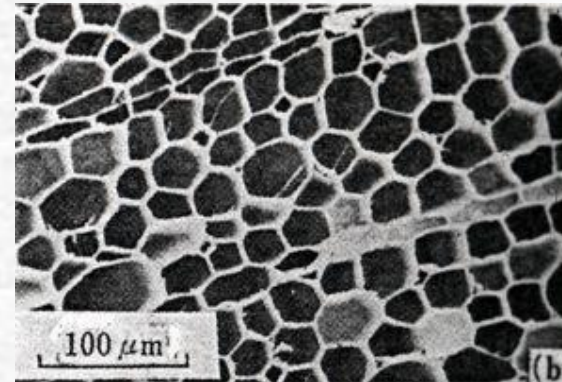
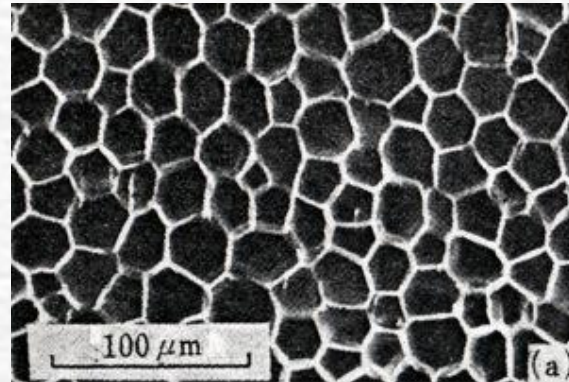
低炭素モデル都市

- 家屋
 1. 高断熱材料の利用
 2. 地域冷暖房
 3. 省エネ家電の利用
- 交通
 1. カーシェアリング
 2. 高度道路システム
 3. 路面電車の敷設
- 電力供給
 1. 次世代送電網(スマートグリッド)
 2. 再生可能エネルギー利用
- 地域インフラのグリーン化
 1. アスファルトなど、石油製品は使用しない
(低炭素型資材を使用する)
 2. 水収支を考慮し、多孔質材を使用する
 3. 緑と生物多様性に配慮

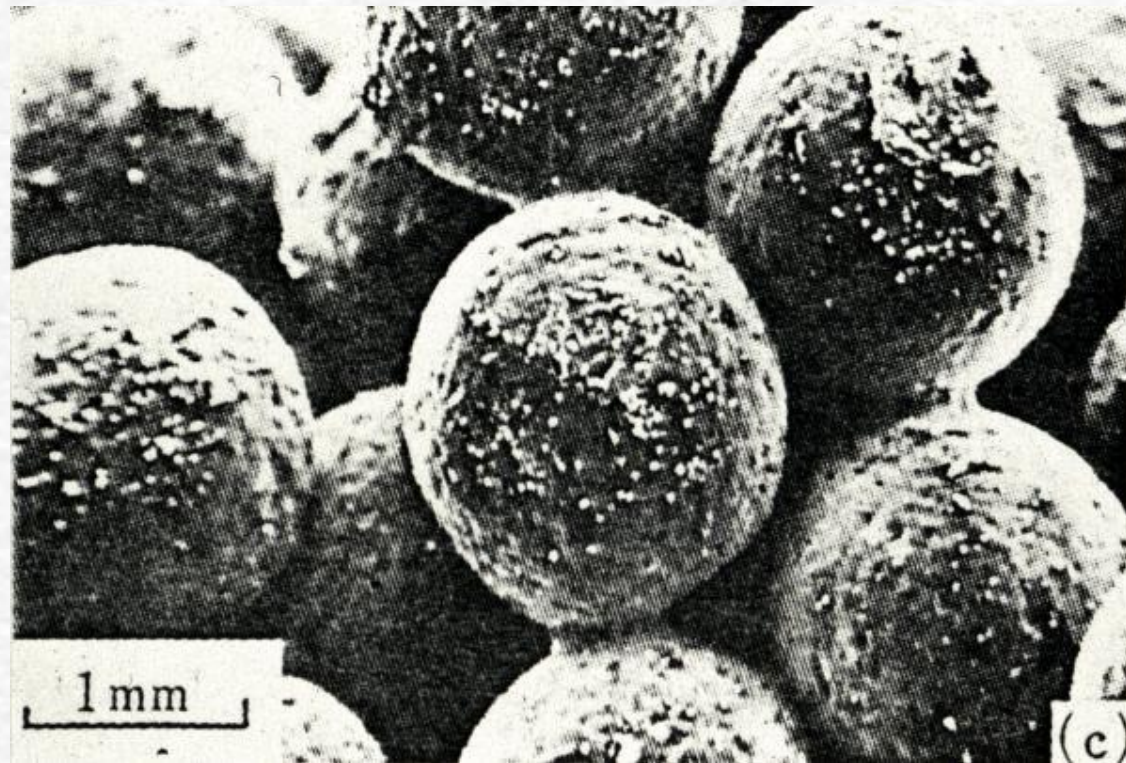
人工の多孔質材料



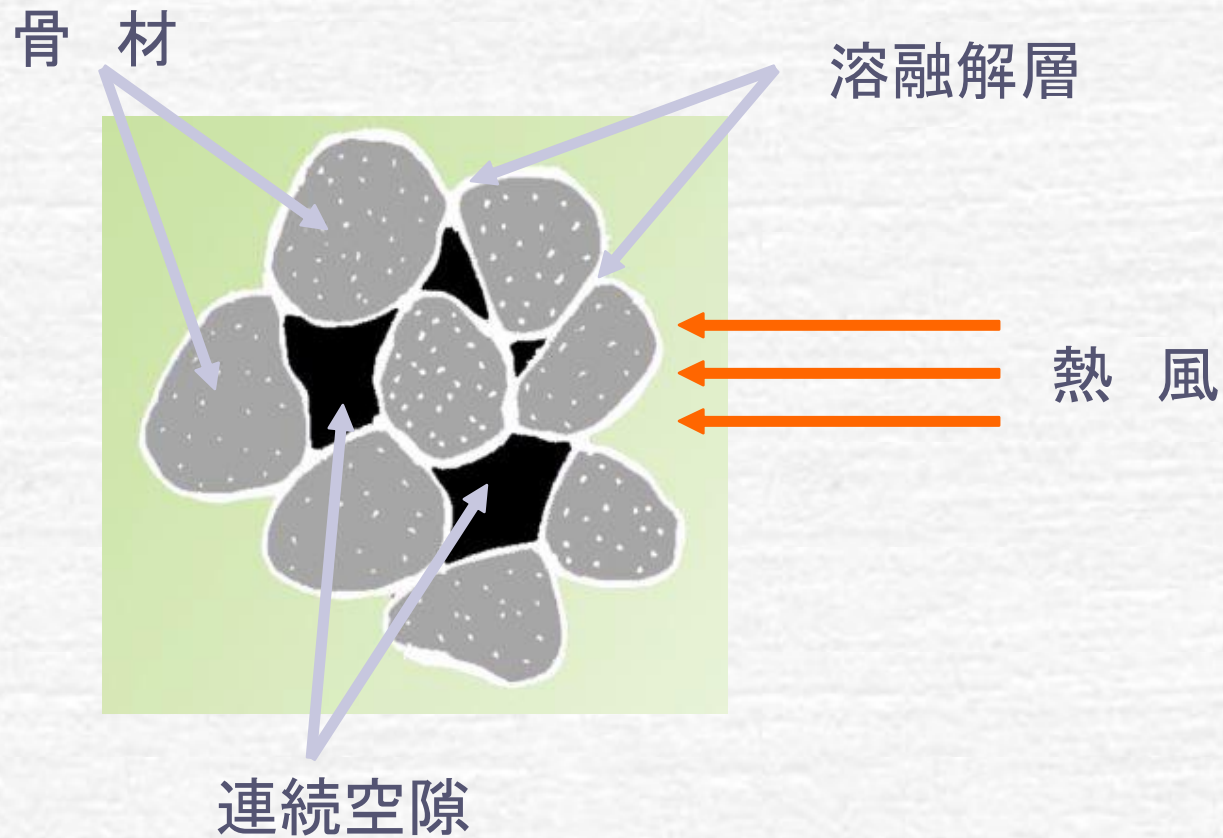
自然の多孔質材料



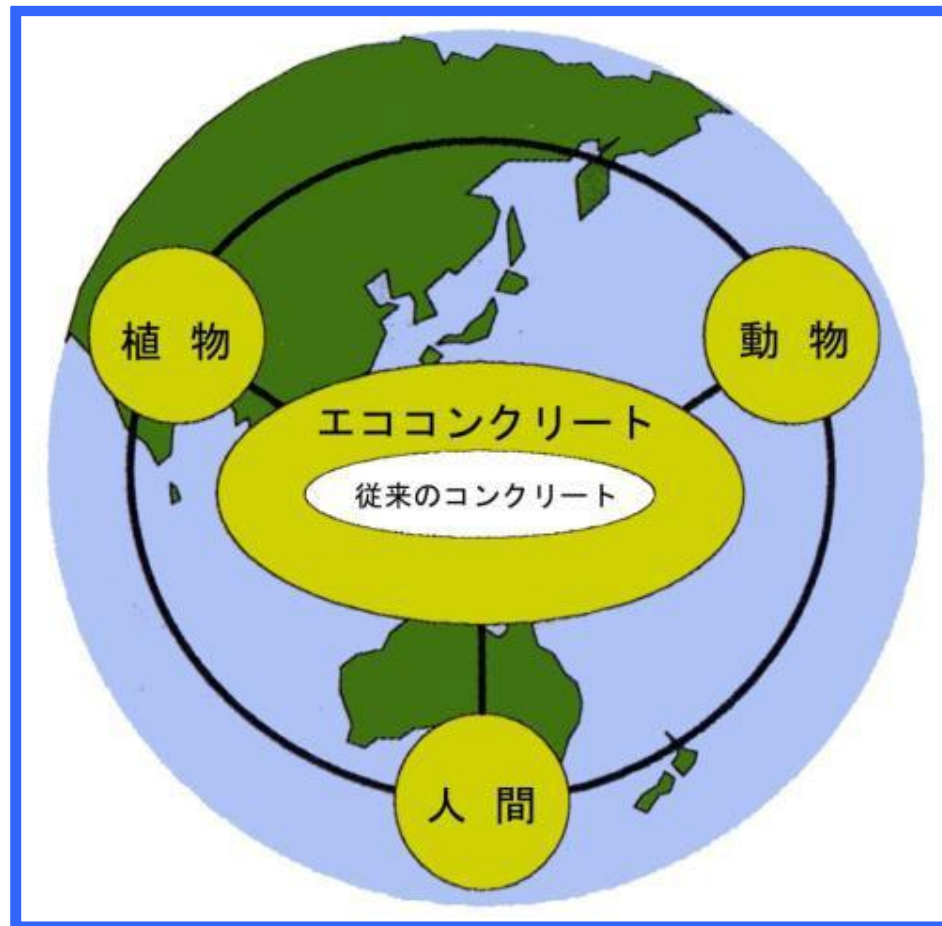
アルミ球体の表面溶融



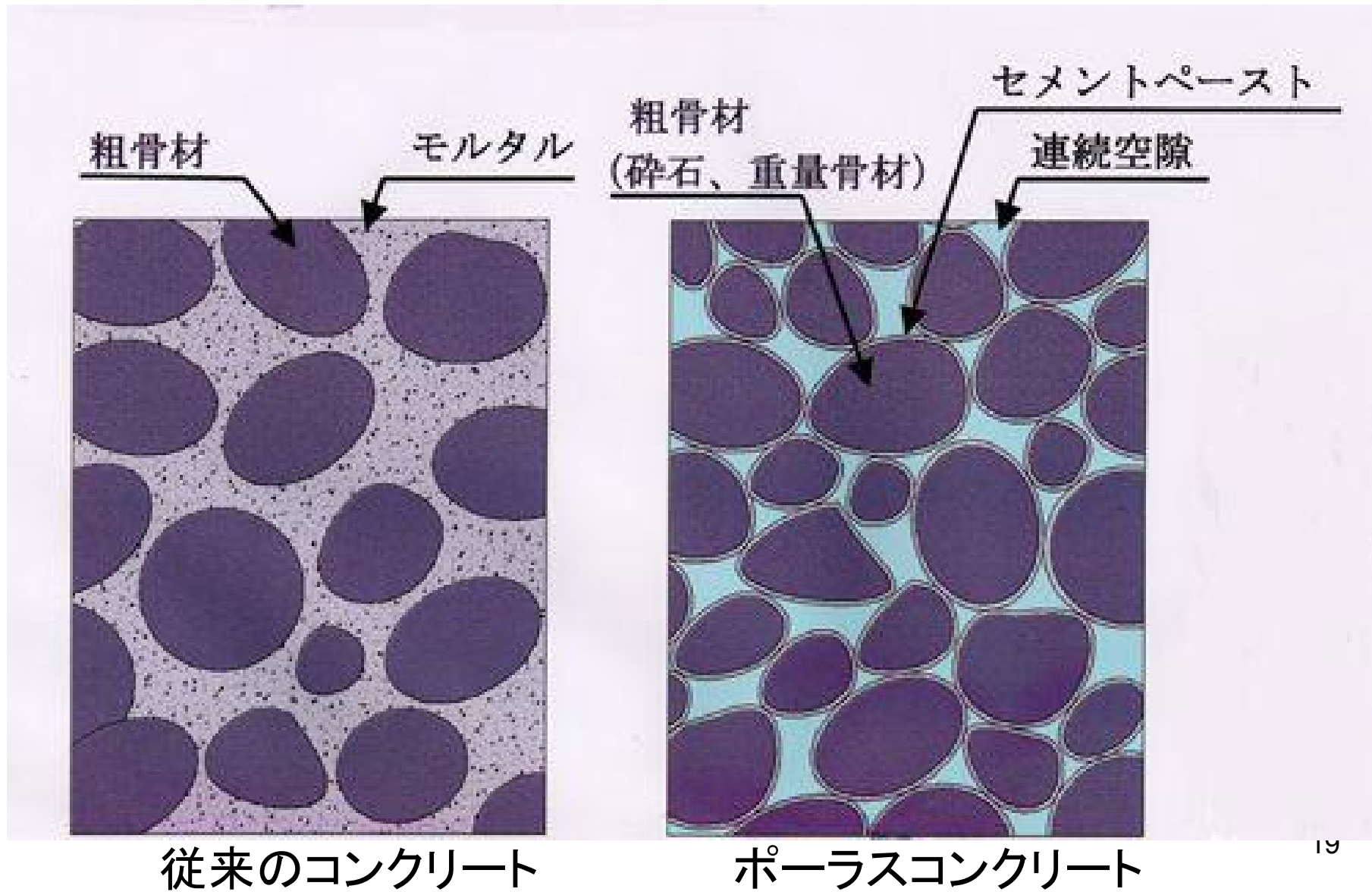
比較的低温で溶融する骨材と熱風



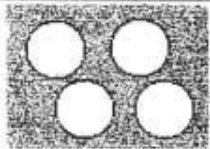
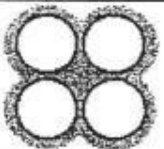
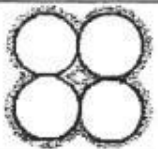
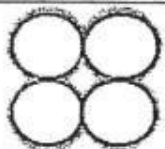
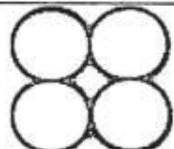
Environmentally—friendly Concrete



POCの概念図



固液混合系の充填形式

充填形式	スラリー域	キャピラリー域	ファニキュラー域		ペンデュラー域
			第2領域	第1領域	
固相	不連続	不連続	連続	連続	連続
液相	連続	連続	連続	連続	不連続
気相	なし	なし	不連続	連続	連続
状態					

充填モデルにおける空隙率

充填モデル	球1個あたりの の接点個数	空隙率 (%)	独立空隙の 最大半径	F-2の臨界 空隙率 (%)
粗密充填	4	66.00	—	—
立方格子充填	6	47.64	0.723R	19.75
斜方格子充填	8	39.54	0.528R	8.89
表面格子充填	12	25.95	0.414R	5.25
最密充填	12	25.95	および 0.225R	(6.50) 1.25

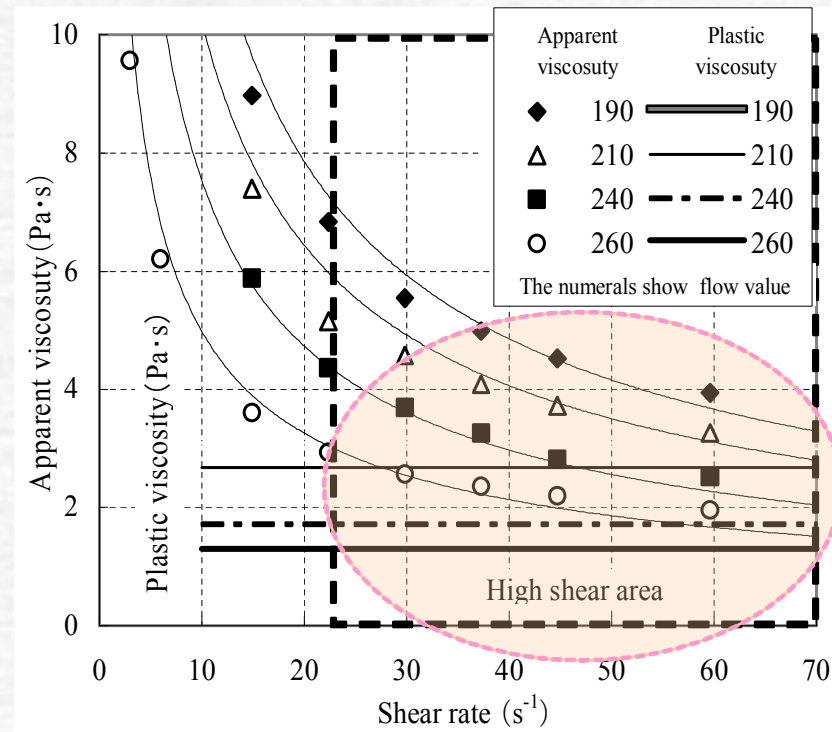
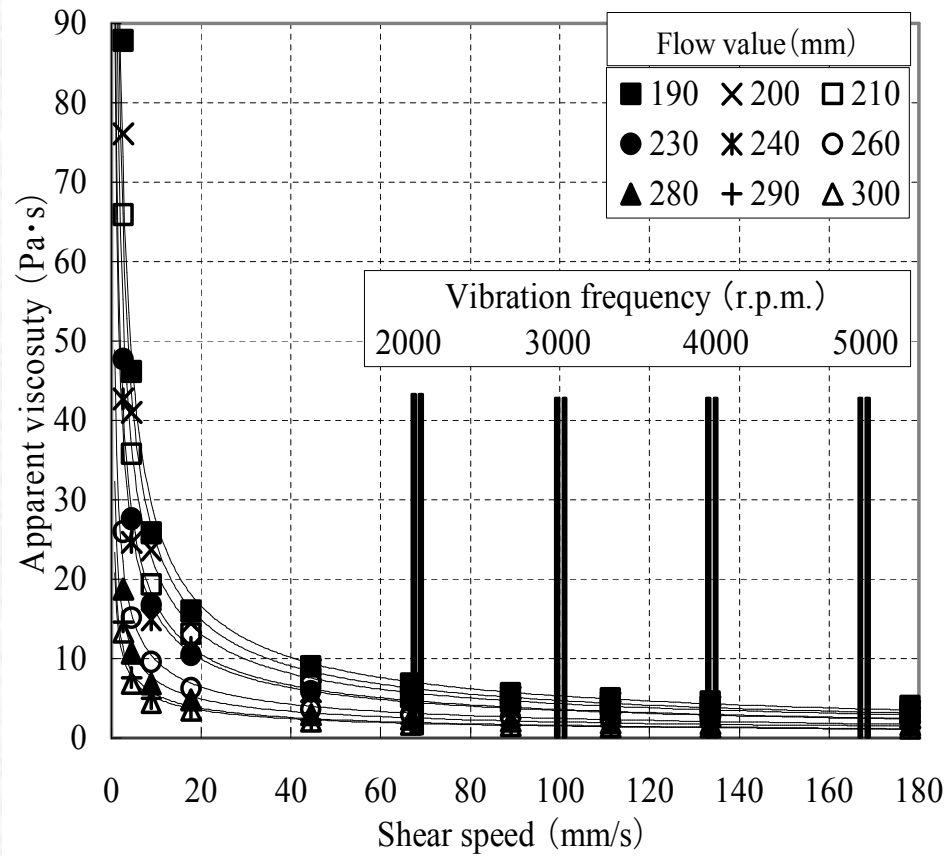
ポーラスコンクリートの配合と結合材の種類

配合の種類	結合材の種類	$SF/(C+SF)$ (%)	$W/(C+SF)$ (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
				W	C	SF	G	Sp
A	CN	—	25	74.0	296	—	1 540	2.96
B	CB	—	25	72.5	290	—	1 540	2.18
C	CN+SF	20	25	69.5	222	55.6	1 540	5.6

CN：普通セメント，CB：高炉セメント， SF ：シリカフェーム， W ：水， C ：セメント， G ：粗骨材， Sp ：高性能減水剤

見掛け粘度vsせん断速度(振動速度)

見掛け粘度は、せん断速度に依存(反比例)

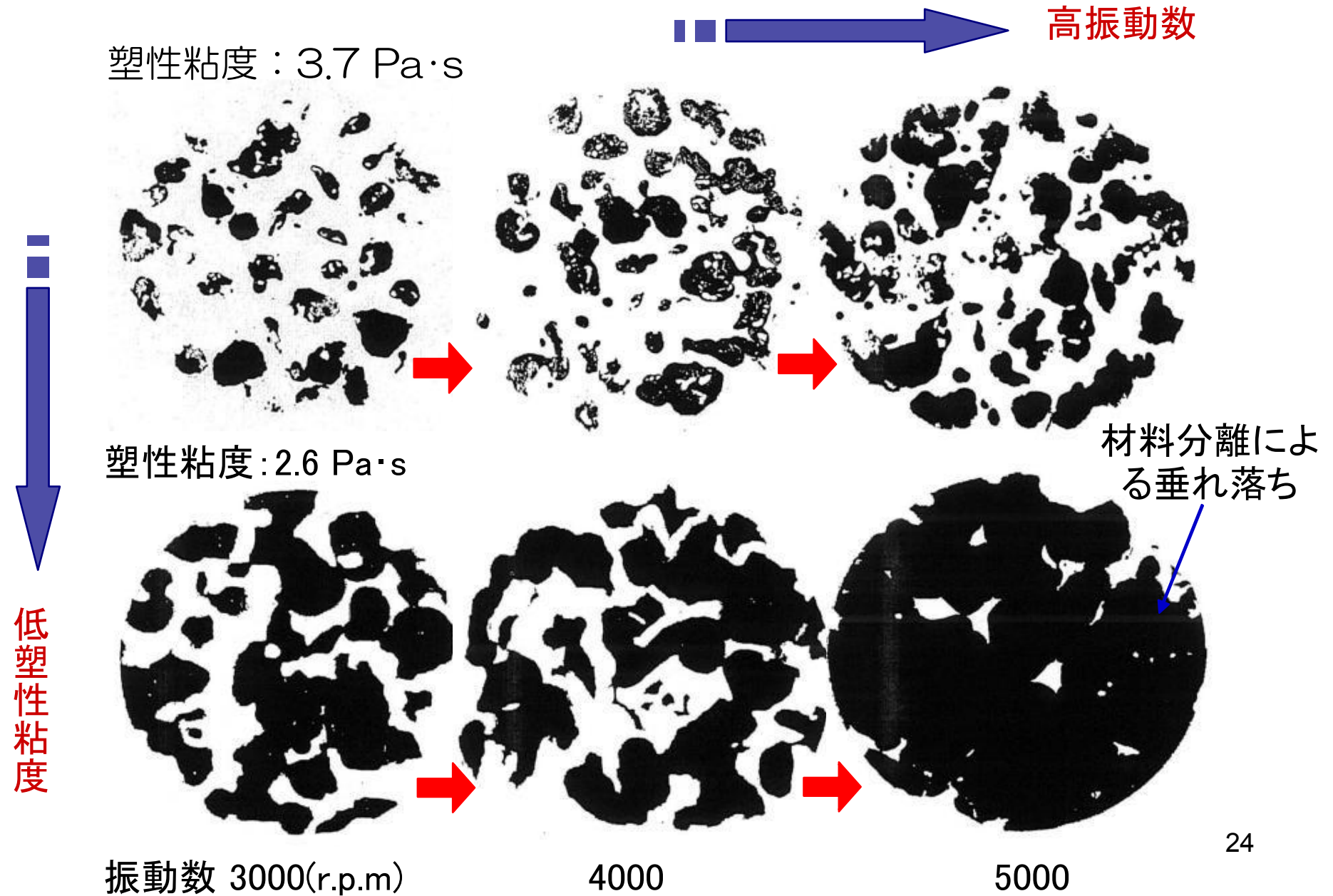


高せん断領域



見掛け粘度 ≒ 塑性粘度

PoCの底面



環境負荷低減型POC

(1) 透水・保水性能

排水・透水・保水性舗装, 透水性柵やヒューム管

(2) 吸音性能

道路や鉄道および工場等の騒音を吸収する

吸音コンクリート製品

(3) 水質浄化性能

汚濁水の浮遊物質や有害物質を吸着する製品

(4) 温熱性能

断熱性および蓄熱・放熱性コンクリート製品

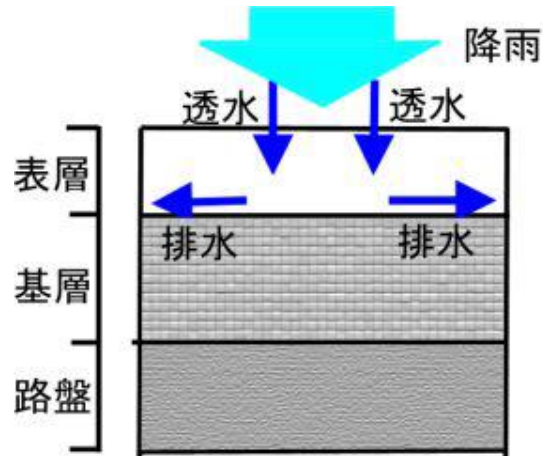
(5) 調湿・吸着性能

水分調整壁製品、有害ガス (**NO_x**、**SO_x**) の吸着

浸透施設（国土交通省）

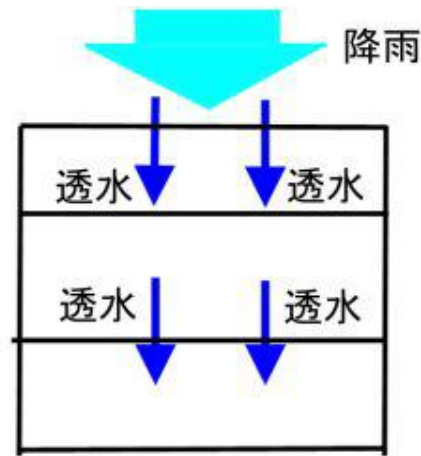


POC舗装の種類



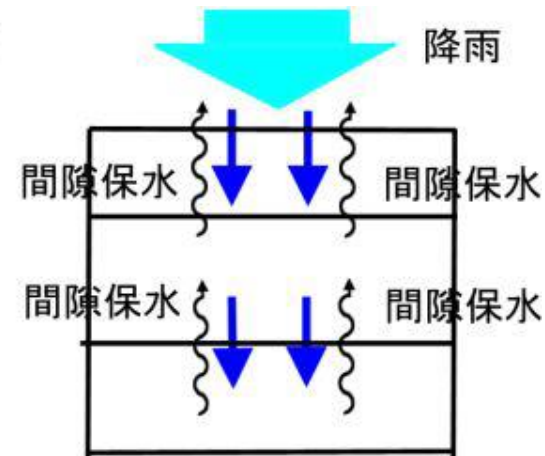
排水性舗装

- 空隙を設けることにより透水(表層のみ)
- タイヤと舗装面から発生する騒音を低減(透水性、保水性舗装も同様)
- 荷重強度は右例より大



透水性舗装

- 空隙が比較的大きい
- 雨水が地盤まで透水することにより舗装面を流出する水量が減少

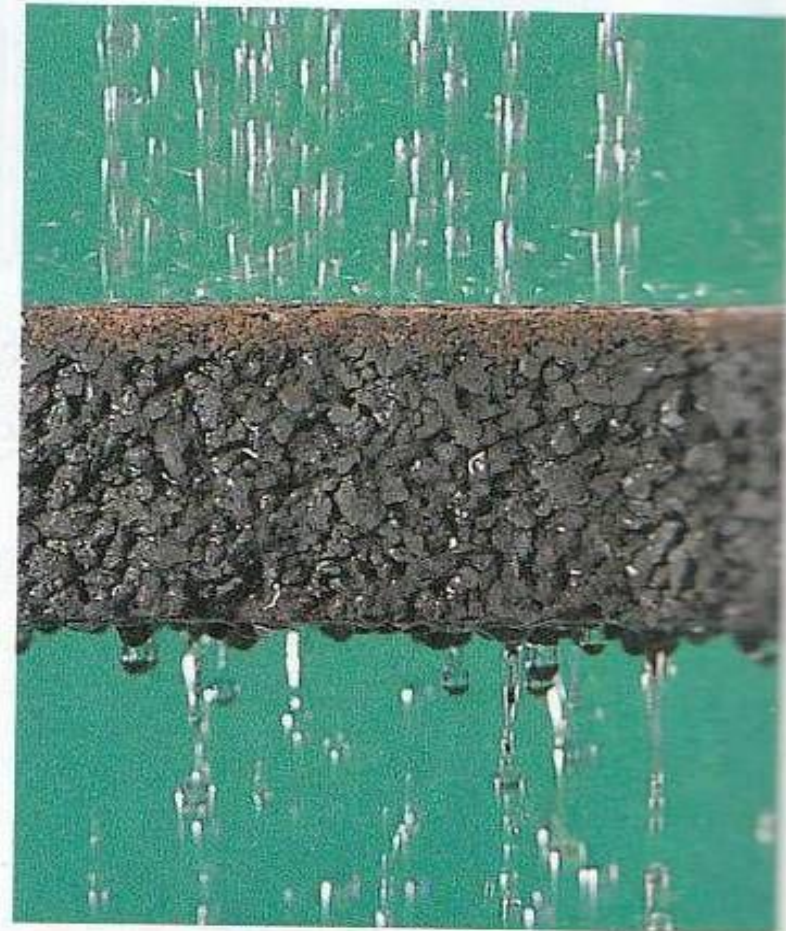


保水性舗装

- 空隙が比較的小さいため毛細現象による間隙保水が可能
- 間隙保水が可能となるため舗装面の温度を低下させる効果がある

大地に水を還元する透水機能

雨水などを舗装面から地下水へと還元することができるので、街路樹などの育成を促すことができます。また、地中に水を返すことによって排水を少なくするので、排水施設への負担軽減にもなります。



POCを用いた歩道と駐車場



杭州西湖のPOC外周歩道



舗装への適用例

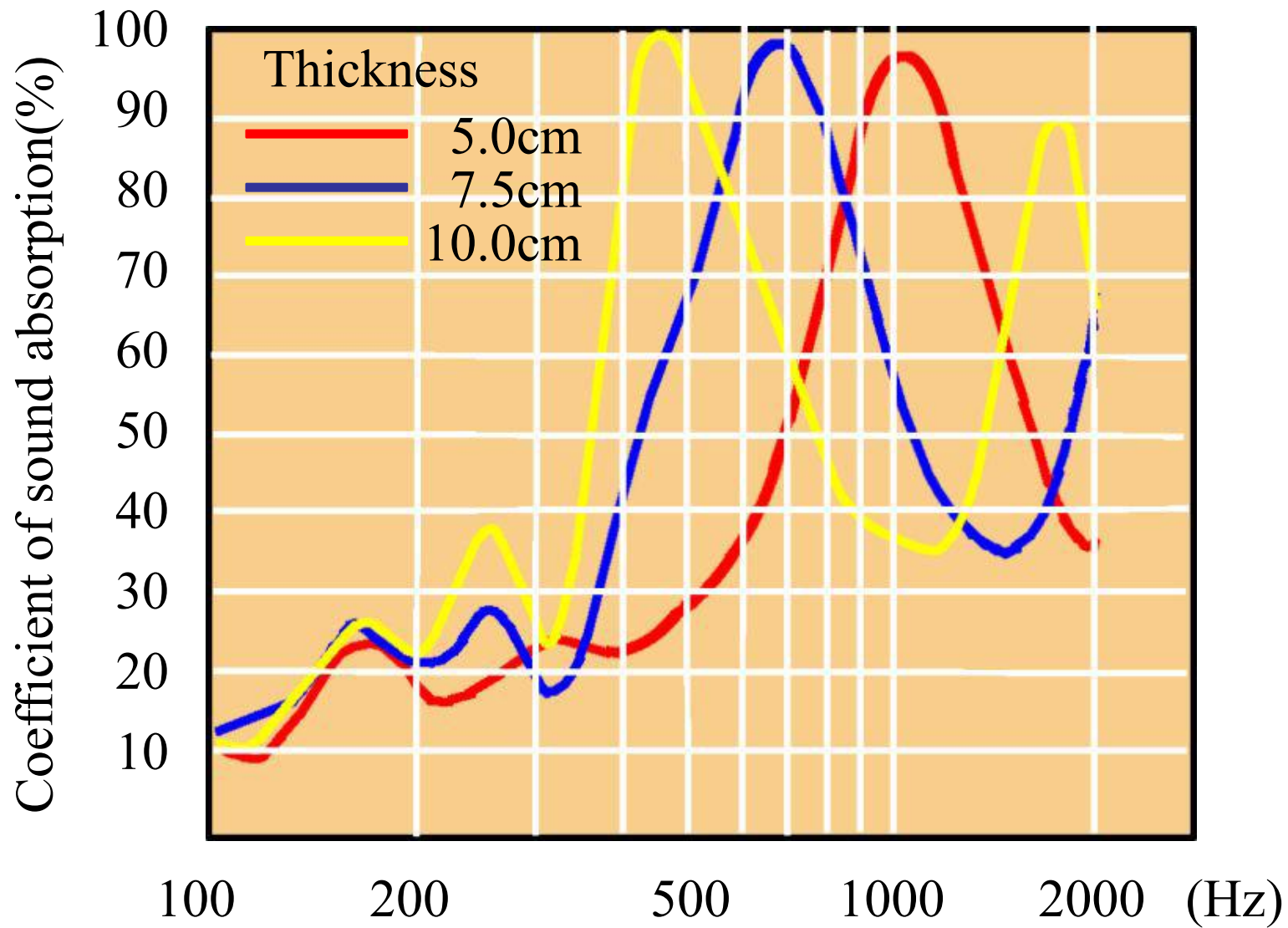


POCの道路舗装



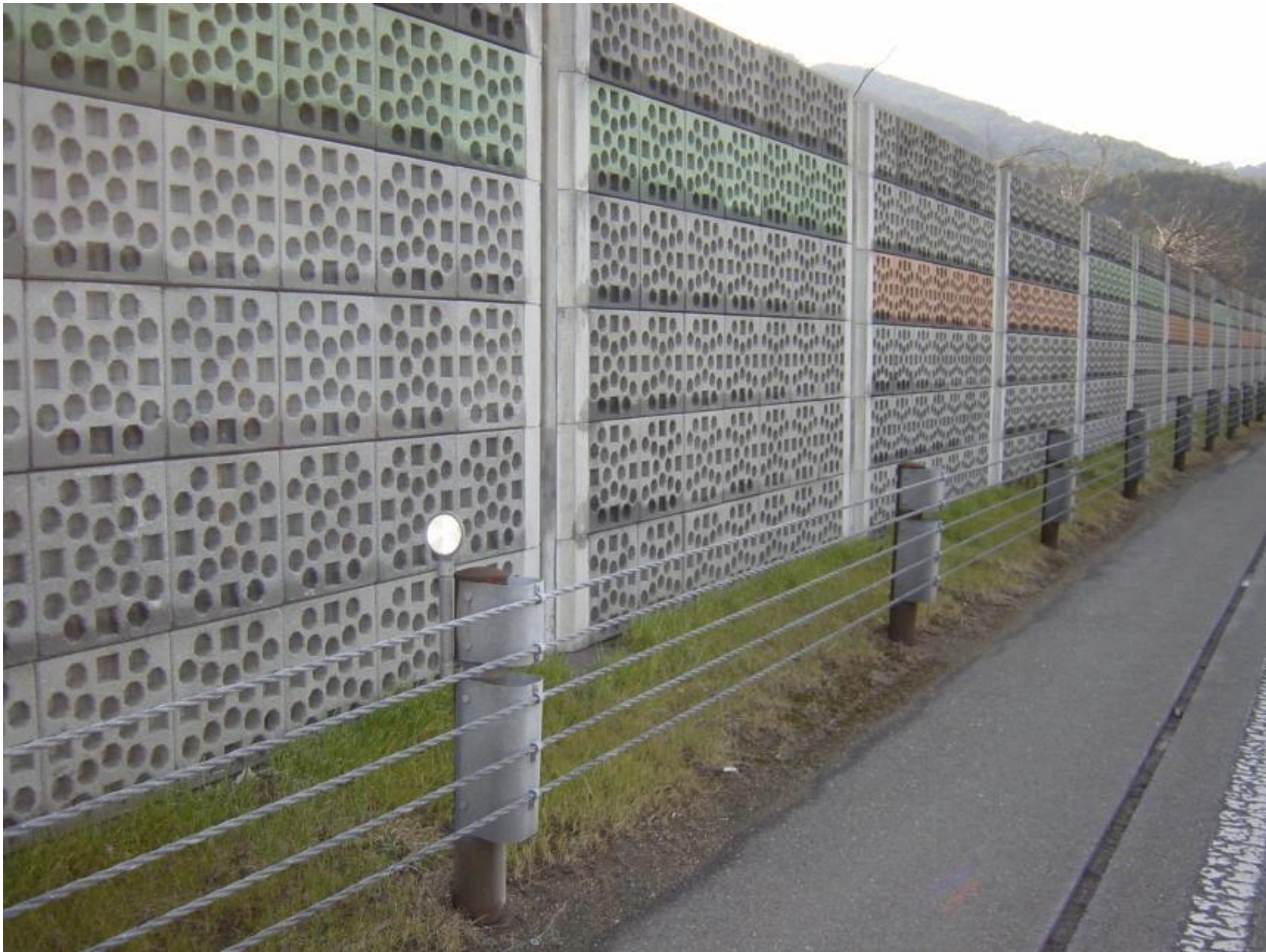
現場打ち道路舗装



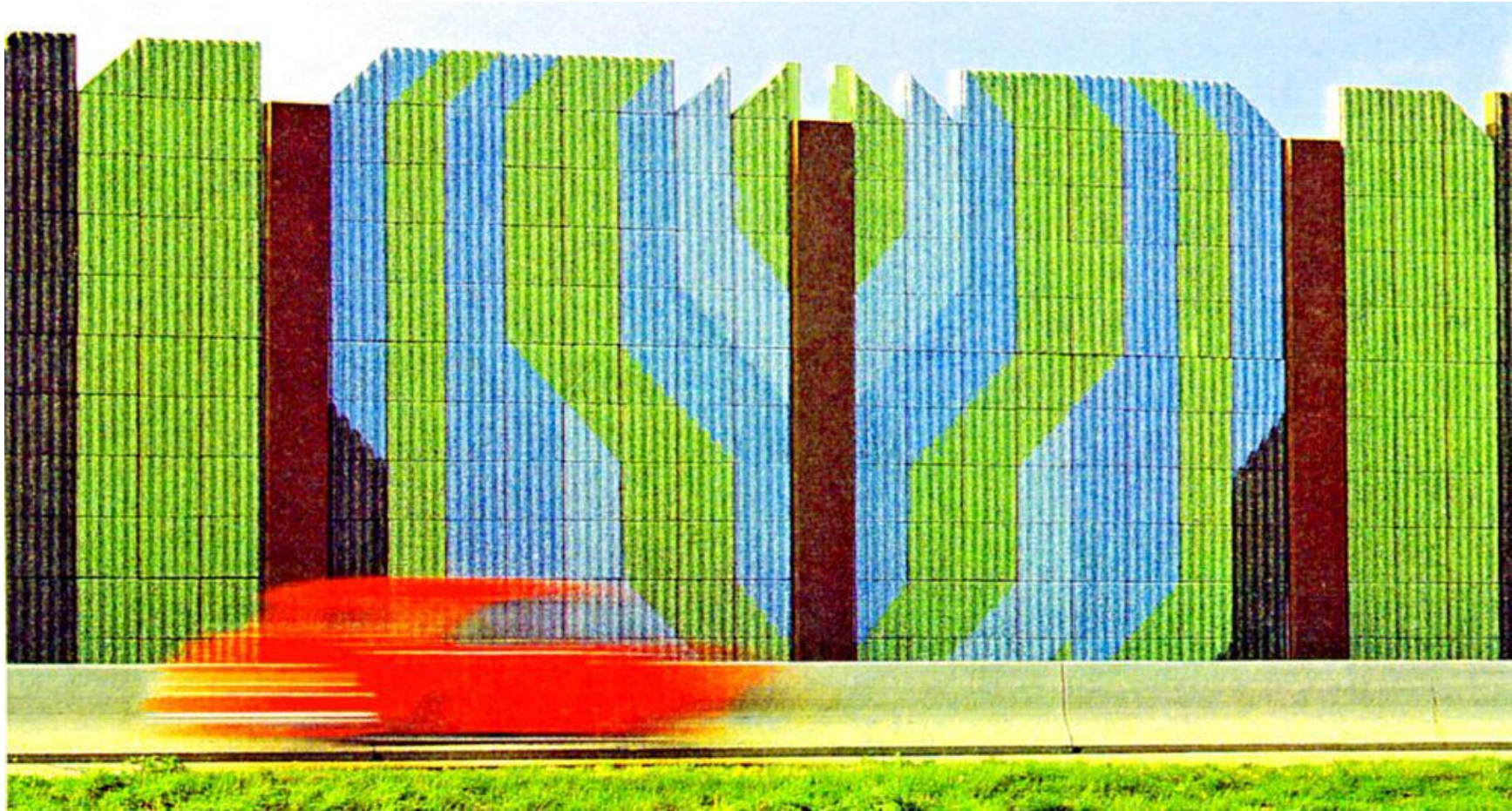


POCの厚さと吸音性の関係

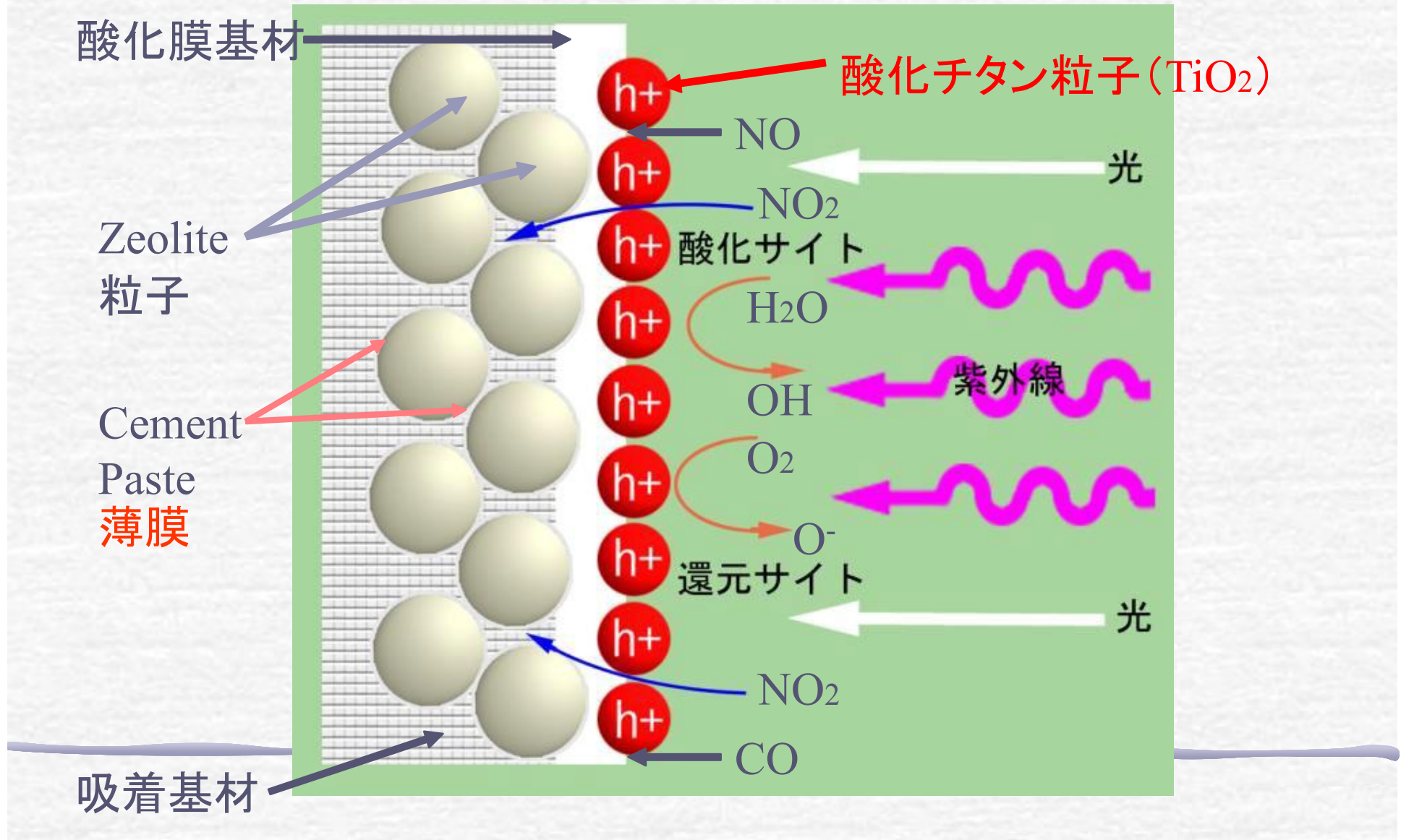
高速道路用に適用した吸音コンクリートの例



アウトバーンの吸音コンクリート



光触媒TiO₂とゼオライトを用いた ポーラスコンクリートのNO_x吸着模式図



生物共生型POC

(1) 緑化性能

(緑化・植生コンクリート)

(2) 微生物や小動植物の棲息基盤

(小動物の生息空間：ハビタット)

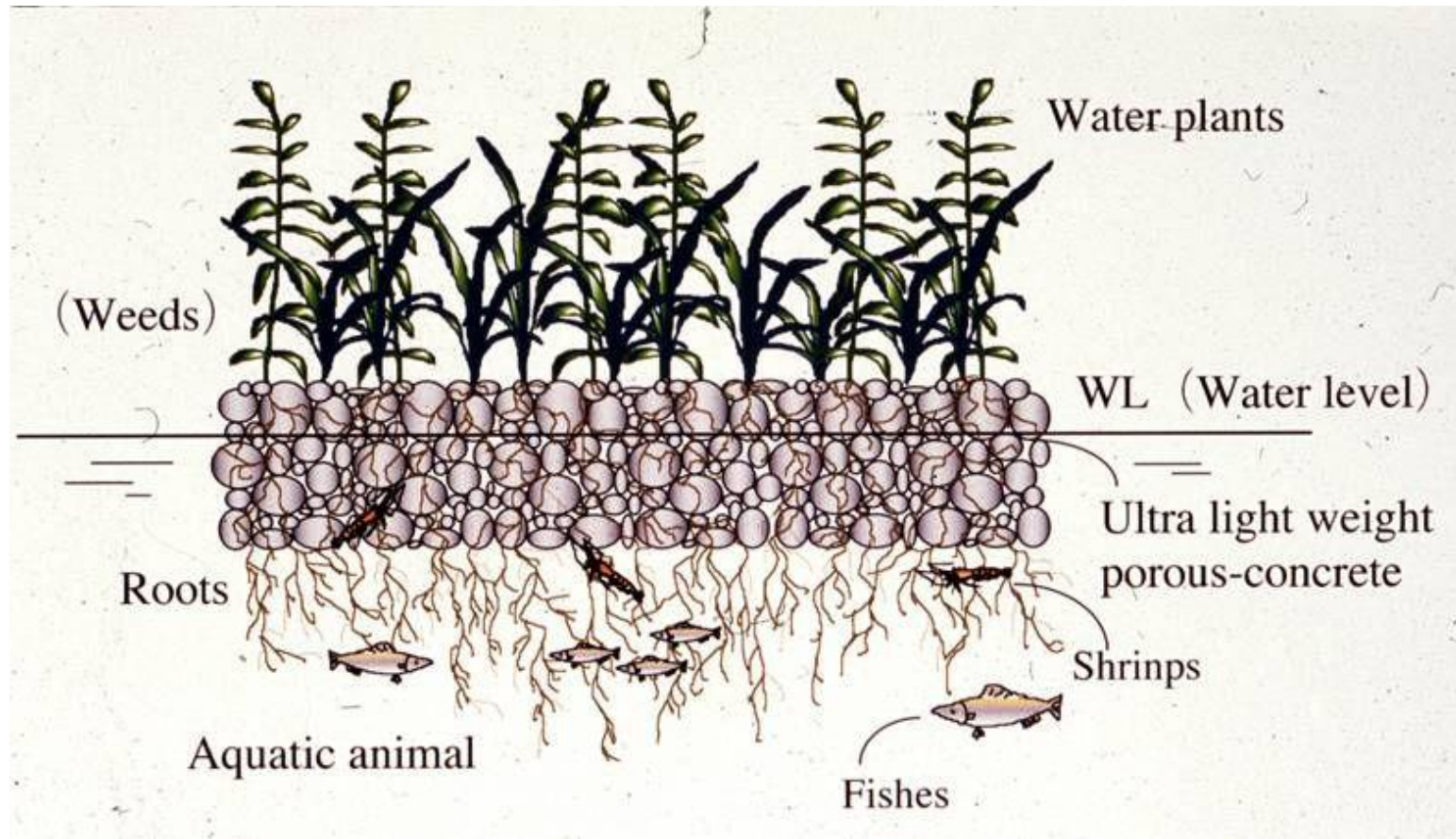
(3) 海生生物の付着基盤

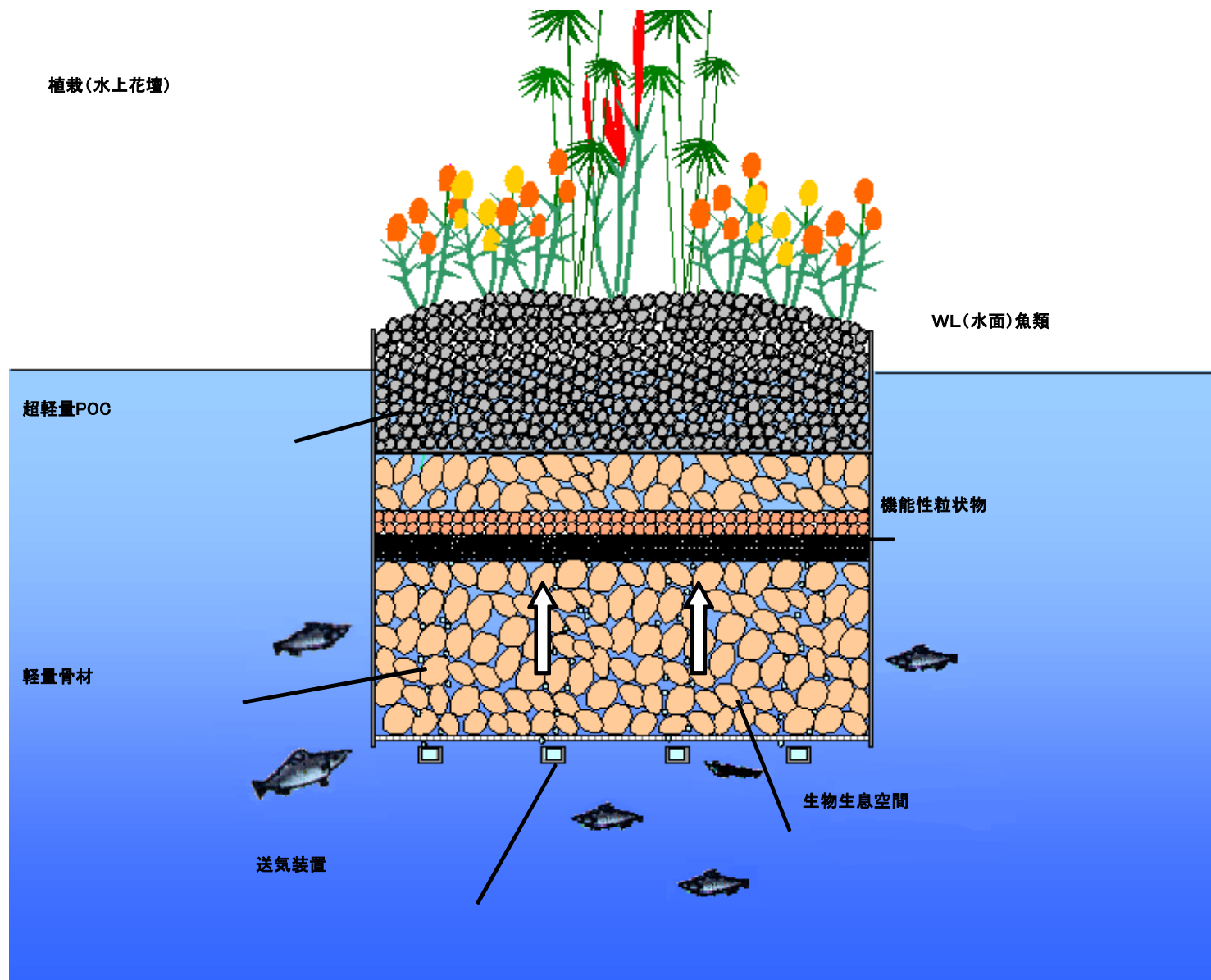
(多様性生物の基盤：各種藻類，各種動物類の付着・生息基盤)

(4) 微生物の付着基盤

(微生物による水質浄化)

浮島緑化基盤による水圏の浄化



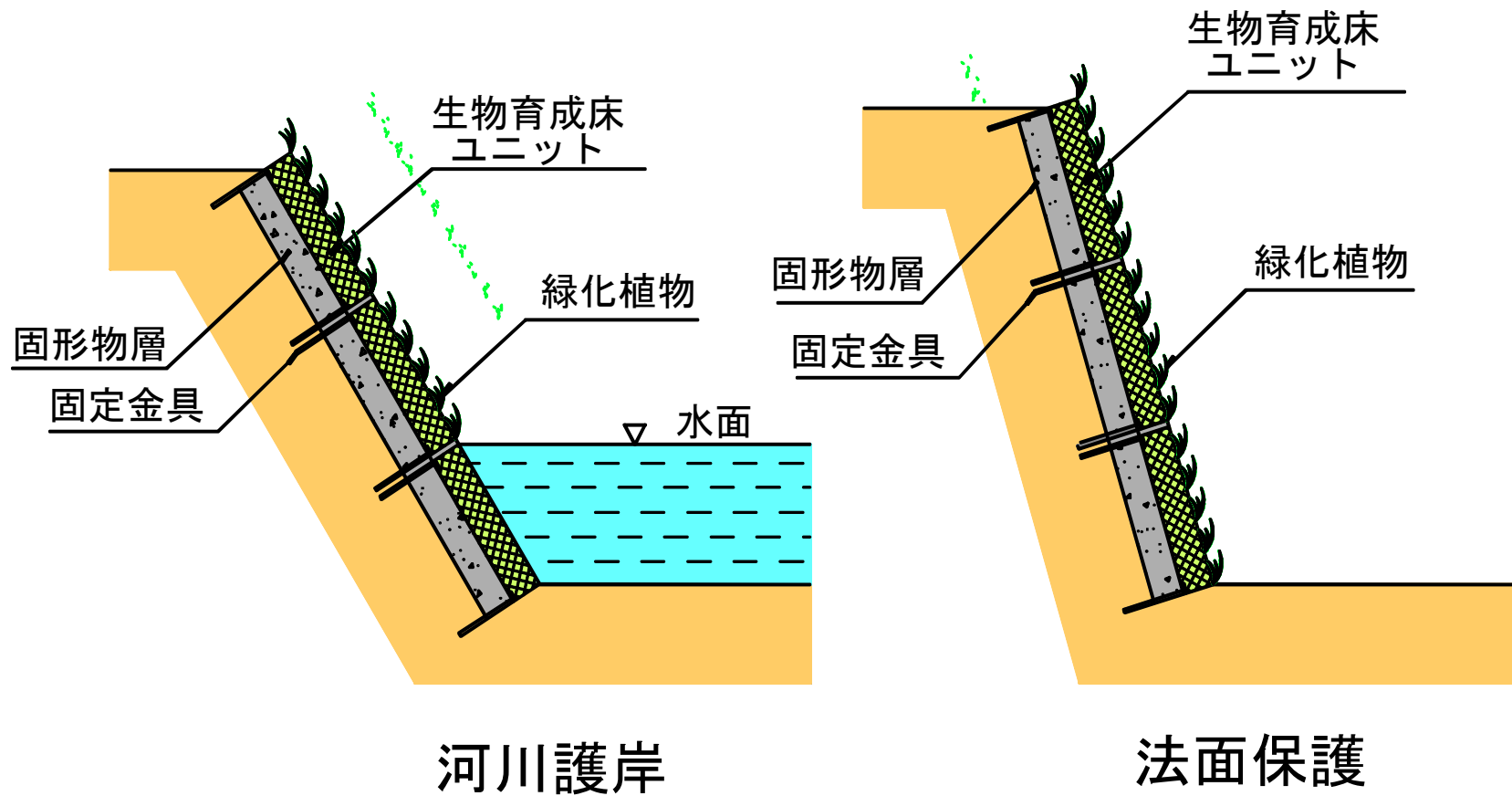


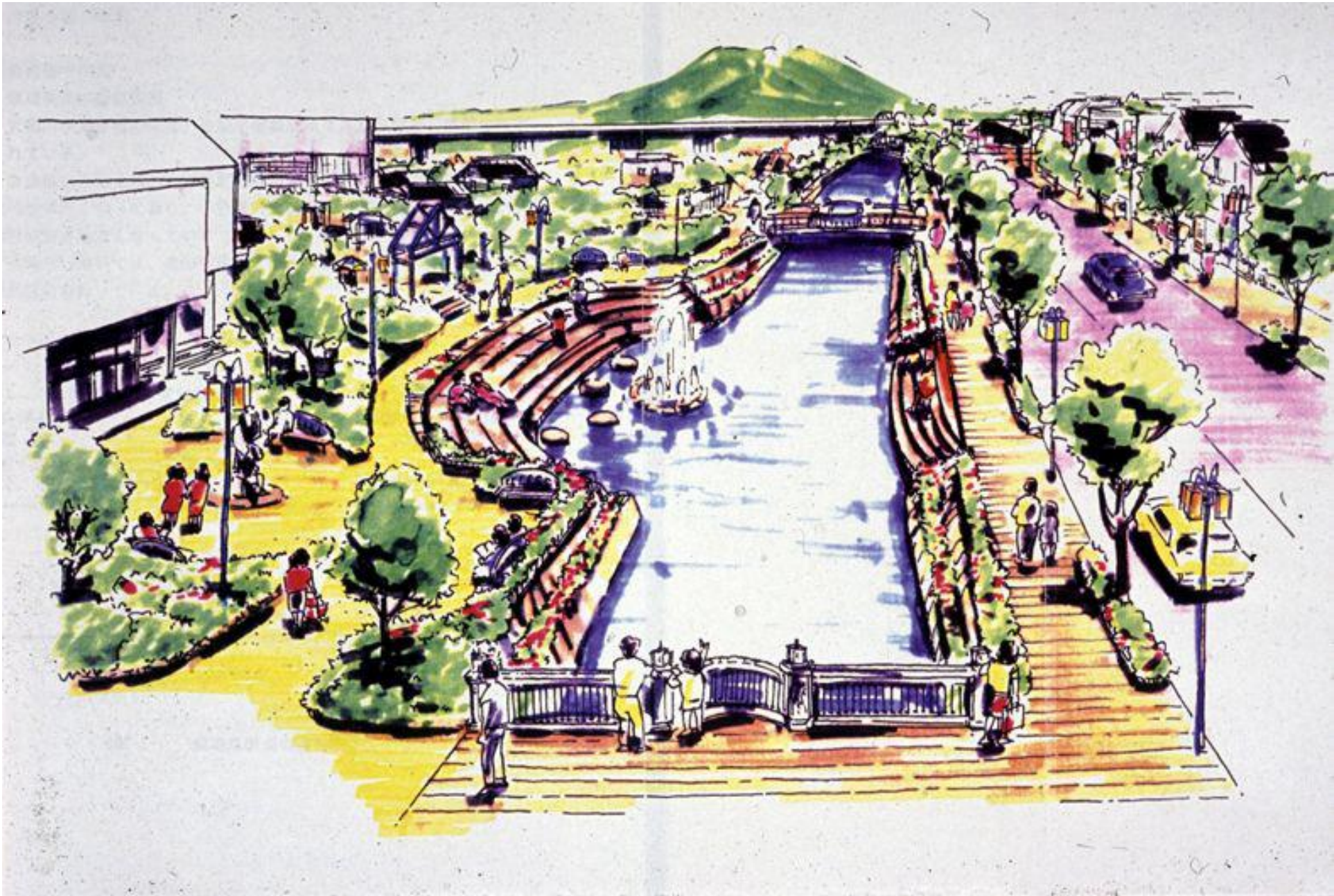
浮島式の水質浄化技術

大川水質浄化実験



生物育成床を用いた護岸構造





植栽実験



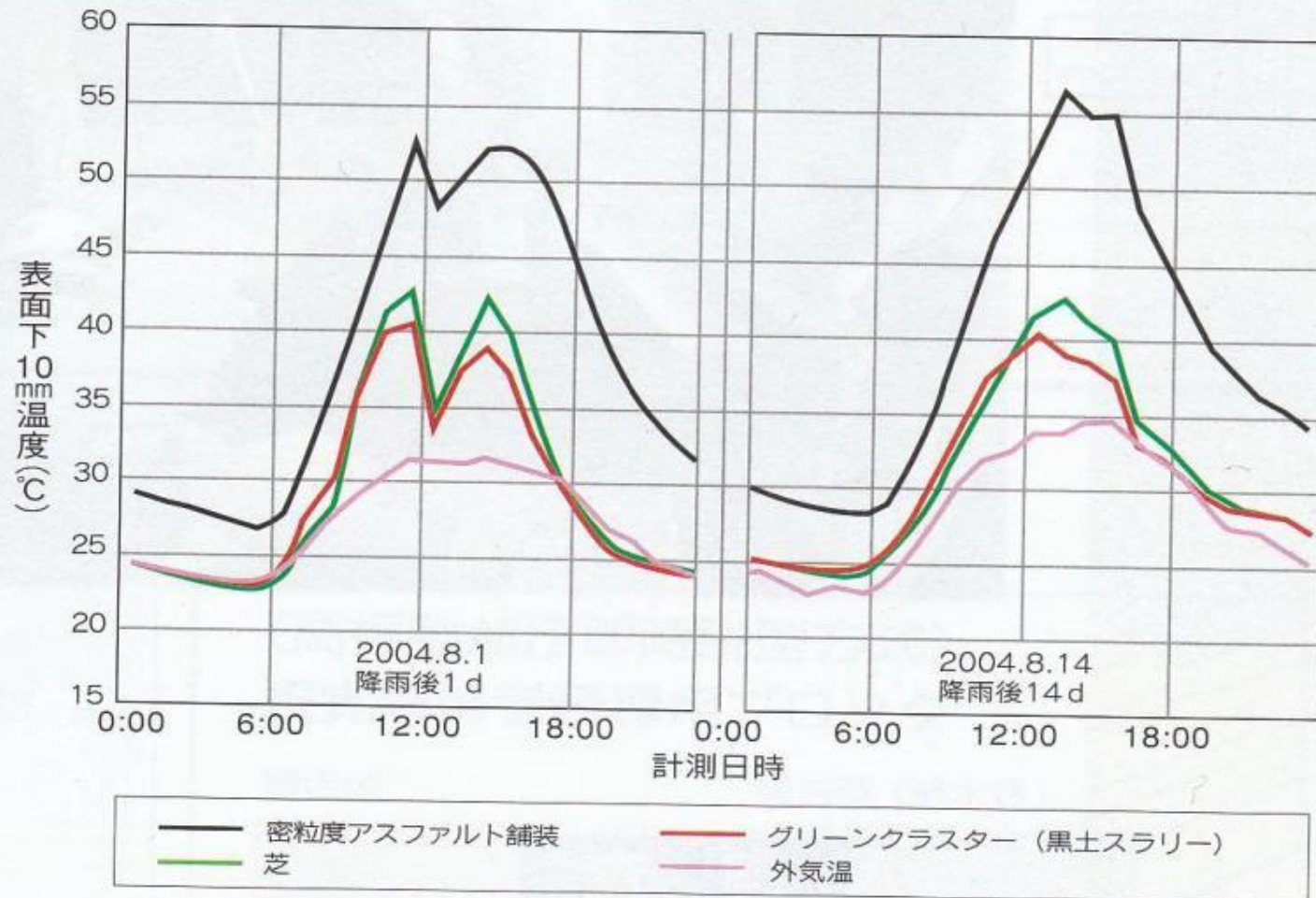
緑化基盤としての ポーラスコンクリート



ヒートアイランド現象の抑制に効果を発揮

都市部におけるヒートアイランド現象に対して、緑化は抑制技術として有効であることが証明されております。

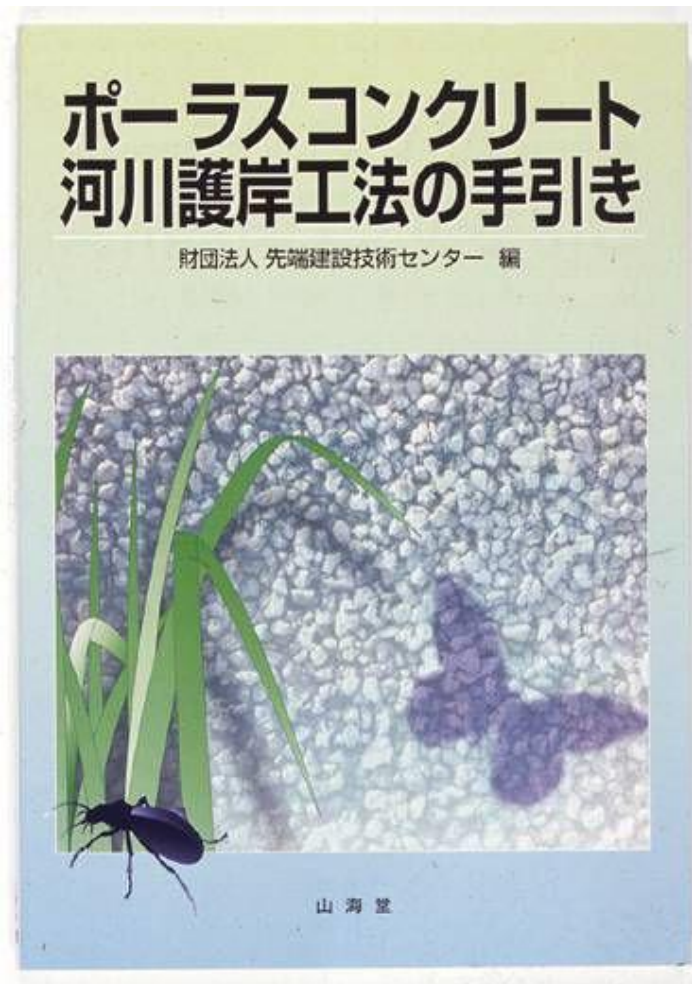
その一手段として、植栽コンクリートの緑化技術が、有効であり、さらに緑あふれる潤いある都市空間を創造します。



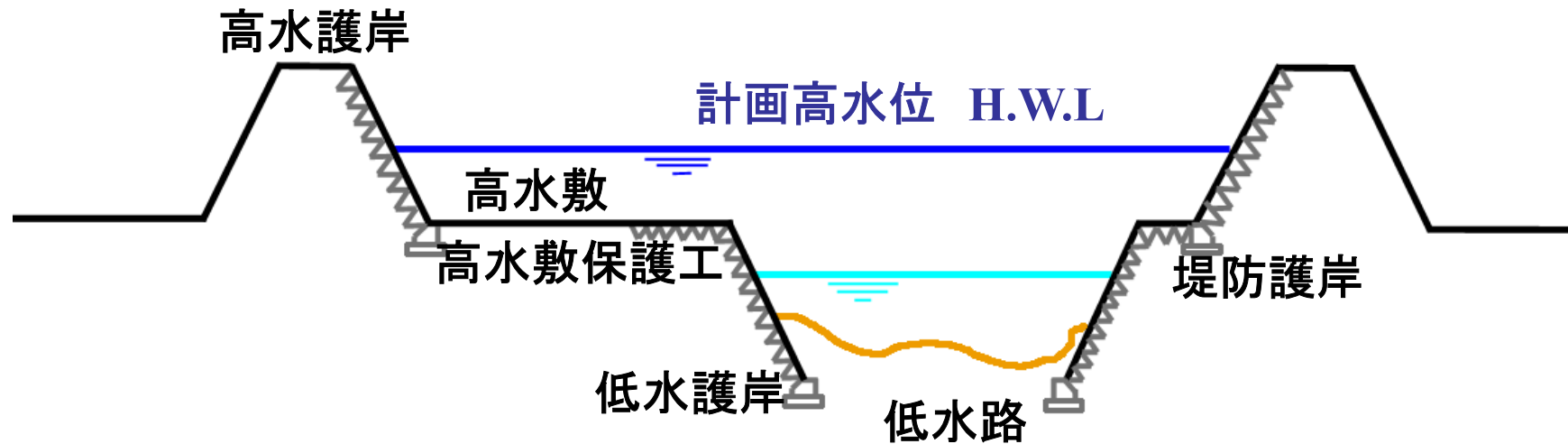
POCを河川護岸に試験施工した事例



河川護岸の基盤材料としての ポーラスコンクリート



適用の範囲



ポーラスコンクリート河川護岸の適用範囲は、低水護岸、高水護岸、堤防護岸とする。

河川護岸の構造仕様

護岸タイプ	適用範囲		適用セグメント
	強度	空隙率	
①植生重視 護岸タイプ	10N/mm ² 以上	21 ~ 30%	セグメント 1 ~ 3
	空隙率によっては, 18N/mm ² まで可能	特に植生を重視する箇所や植生に対する気象条件等が厳しい箇所は, 25% 以上とする	セグメント 2 ~ 3
②強度重視 護岸タイプ	18N/mm ² 以上	18 ~ 21%	セグメント M ~ 2

POCによる河川護岸の機械化施工





河川護岸の自動化された施工例

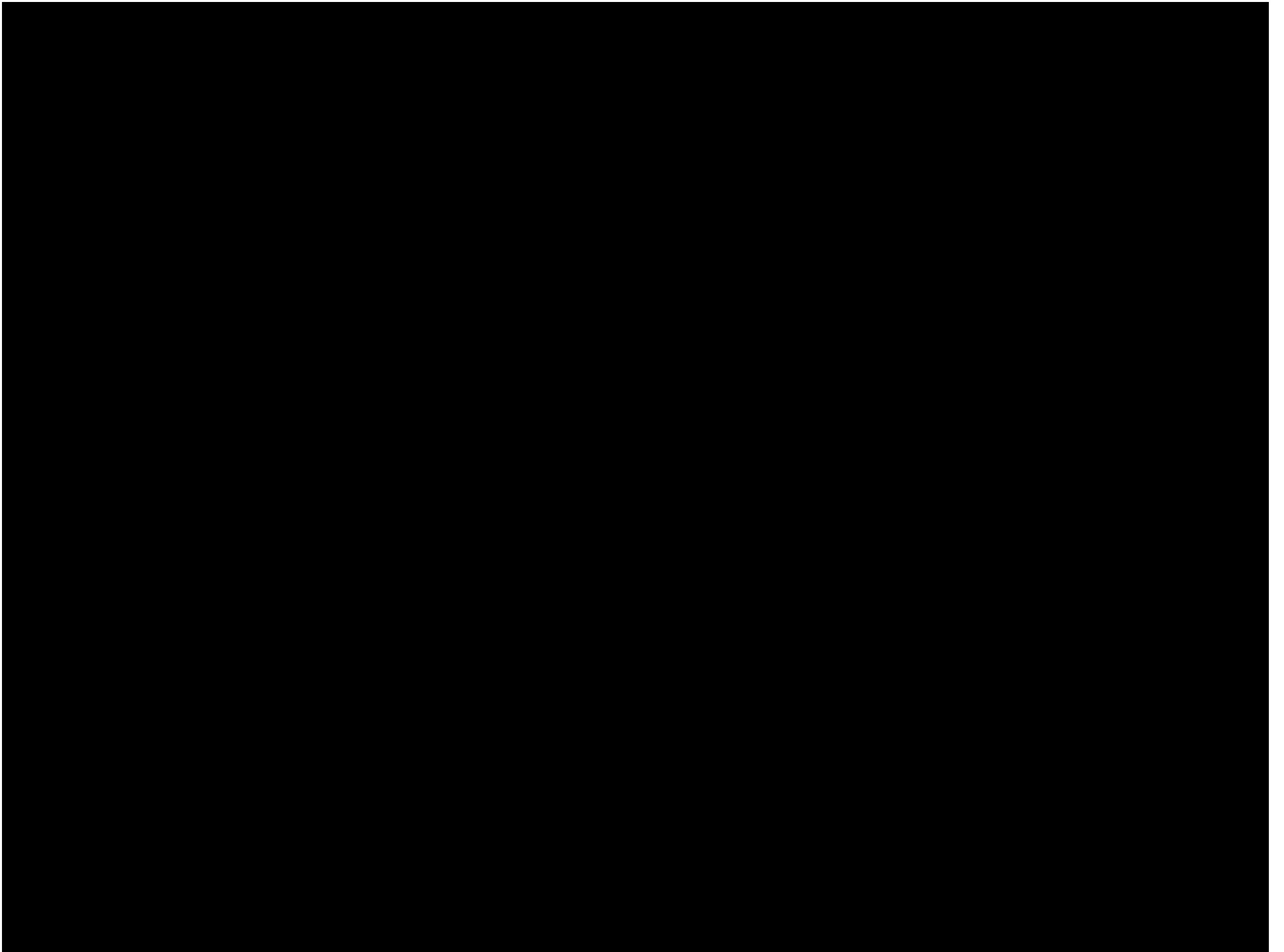
河川護岸の緑化



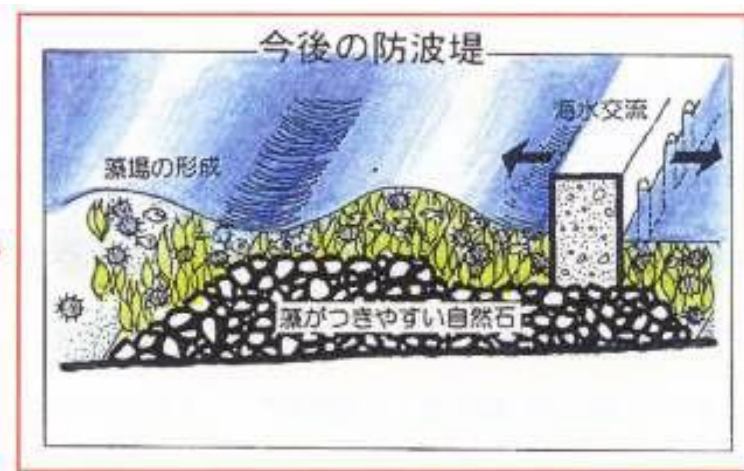
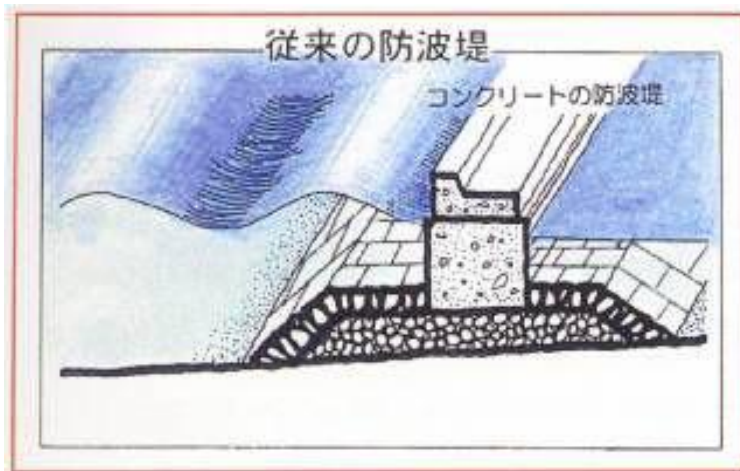


写真 15 植生状況の詳細

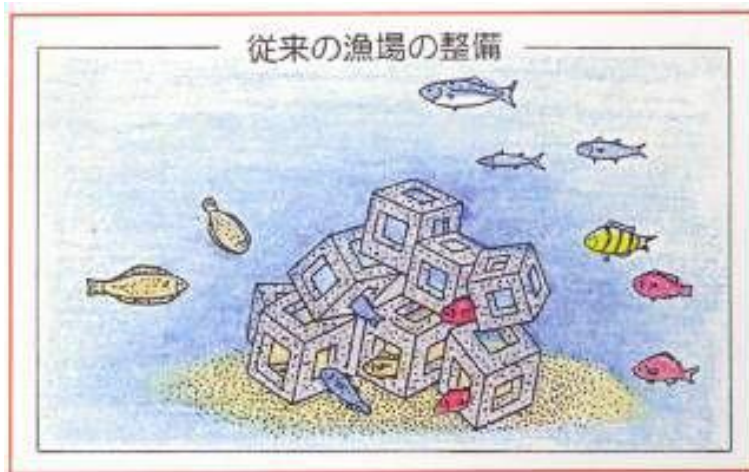




21世紀の漁港・漁場の考え方

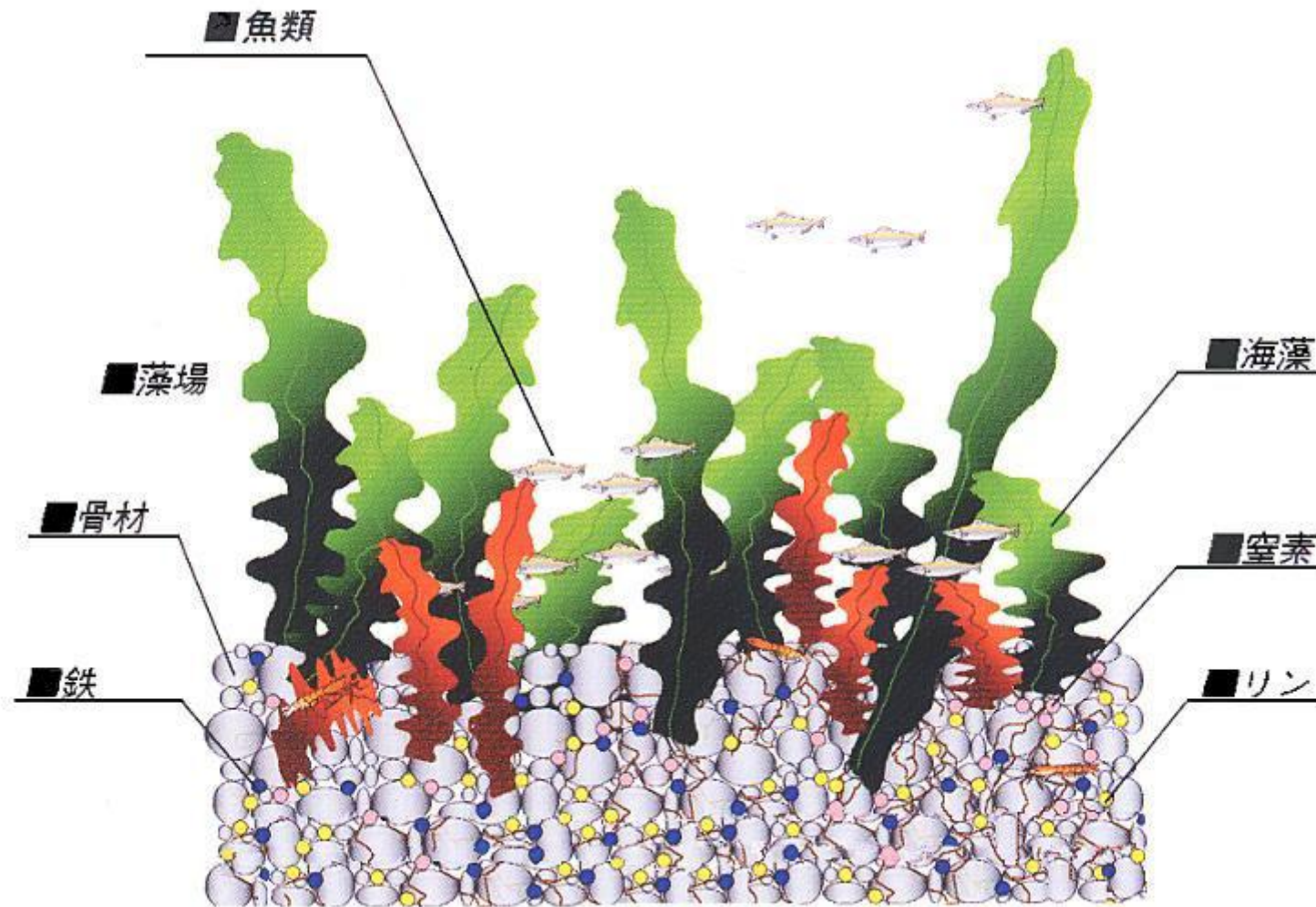


海藻の繁茂した水産動植物が生息できる防波堤



積極的な漁場環境の保全・創造と基礎生産力の向上を目的とした、水産生物を育む「森づくり」

ポーラスコンクリートの構造





設置した藻礁ブロック



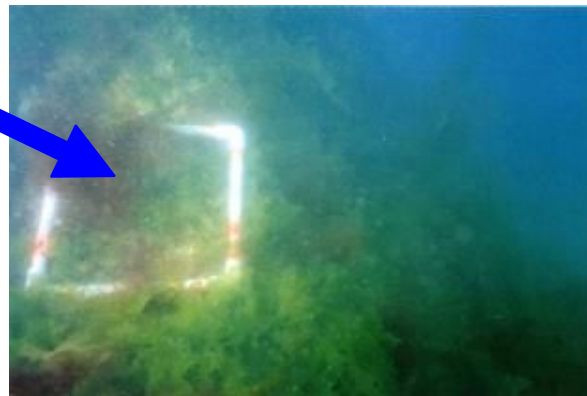
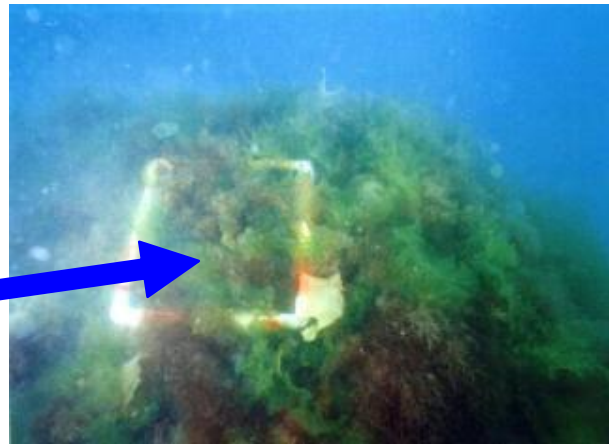
重量：2 t / 基 60



Result and Discussion

Investigation of Seaweed Attached to POC

Visual Inspection of Seaweed Attached to Substrates



低炭素型資材の開発

- 目的

連続した空隙を有する多孔質材を創る
透水性・保水性と適度な強度と耐久性を有する
(生コンプラントで製造可能な)エコ資材を開発

- 用途

街路や歩道、広場、駐車場用の舗装、自転車道路や
ジョッキング用道路、緑化基盤など、逆に防草材として

- 使用材料

骨材には碎石、砕砂、マサ土が主材であるが、5mm
以下のコンクリートリサイクル材や産業副産物(水サイ
やフライアッシュ)も使用できる。

結合材には混合セメントや各種混和剤を使用する。

温故知新から生まれた 低炭素型資材

- 人類の歴史を顧みると、有史以前から土と藁などの天然繊維を資材とした構築物の遺跡がシルクロードの敦煌をはじめ、アフリカの砂漠地帯には数多く現存しています。
- 中国福建省には巨大な環状の客家土楼と呼ばれる多層型コンドミニウム形式の民家があります。

環状の客家土楼



イエメンのシバーム(アラビア半島)



マリのジェンネにあるモスク



21世紀の土系材料

- 主材: マサ土をベースに水砕スラグやフライアッシュ、廃コンクリート粉などのリサイクル材を添加
- 特殊な混和剤(FC剤)、テラザイム(TZ剤)を用いてさらに発展させ、所望の強度と耐久性を保持
- 水や空気を自由に透し、または保水し、環境に優しいPorous Materialsを開発
- 供用中に保水の蒸発や断熱効果により環境負荷を低減する。
- この建設資材は、温故知新の思想から生まれたもので21世紀型の**環境負荷低減材料**である。



大阪城公園駅

JR環状線

森ノ宮駅

水上バスのりば

野球場

太陽の広場

大阪城ホール

少年野球場

北外濠

記念樹の森

市民の森

音楽堂

音楽堂事務所

公園事務所

大阪国際平和センター

ピース大阪

地下鉄中央線

ロードトレイン運行ルート



NHK 大阪歴史博物館

難波宮跡公園

大阪府庁

大阪府警察本部

レストハウス前

大手前芝生広場

大手門

大手前バス降車場

タクシー乗降車場

西外濠

京橋口

砲硝蔵

豊松庵(茶室)

大阪迎賓館

西の丸庭園

内濠

刻印石広場

天守閣

貯水池

金明水

井戸屋形

金蔵

タイムカプセル

桜門

桜門前

修道館

豊国神社

六番櫓

南外濠

教育塔

城南地区

城南駐車場前

バス専用駐車場(乗降可)

においの森

森ノ宮駅

現在地

遊具広場

森ノ宮駐車場

弓道場

顕彰塔

梅林

内濠

東外濠

玉造口

内濠(空)

内濠(空)

青屋門

極楽橋

噴水

噴水

大手前

大手門前

大手前

大手前

大手前

大手前

大手前

大手前

大手前

大手前

大手前

大手前

大阪城周辺の土舗装



大阪城迎賓館周辺の土舗装



土舗装材の攪拌





土混合物をフィニッシャーに



大阪光明池ファインプラザ で実施した土舗装（駐車場と通路）



連続空隙を有する土舗装

材料物性

土の粒径：体積で65%以上が0.3mm～2.5mm

粒度：粒度分布の調査が必要、マサ土など砂質土の使用が望ましい。

混合材の乾燥状態の空隙率：20%以上とする。

硬化の原理：粒子間のファンデルワールスカと化学結合による。

細粒分が多い場合：水砕スラグやシンダーアッシュの
2.5mm以下を適量混入する。

これらはポゾラン反応性があり長期強度を増大させる。

重金属など環境に影響する有害物質が混入していないものを用いる。

有機物含有量：フミン酸量の試験を行う。

試験方法は土木学会コンクリート標準示方書(舗装編)による

硬化した土舗装材の物性

目標強度（材令28日）

圧縮：7～12N/mm²，曲げ：2～3.5N/mm²

透水係数：10⁻²～10⁻⁴cm/s

保水性：0.2g/cm³程度

弾力性試験 GB係数：50～60%，
 SB係数：10～20%

すべり抵抗値(BPN) 40以上 (ASTM E 303)

試験方法：土木学会コンクリート標準示方書または
道路協会の試験法による

環境と景観に配慮した 低炭素型街づくりの推進

＜地方自治体等でモデル地区を設定＞

- 歩道や街路・広場および駐車場などに低炭素型素材を用い、地盤に雨水を還元する。
- 街の周辺環境や景観に配慮した素材を用いる。
- 供用中に環境負荷を低減する資材を使用する。
- 地元周辺から入手できる土系素材やリサイクル材を使用する。
- 緑化事業等はCO₂の吸収とO₂の生成に繋がる。
- 水・熱・CO₂の収支を算出し低炭素地区を表彰する。

Life Cycle Assessment の観点からの検討が必要

POCは材料の調達や製造過程のエネルギーコストは普通コンクリートと同等

- 1、製造後または施工後の供用中における環境負荷低減(透水・保水、吸音・遮音断熱等)効果は極めて大きい。その評価法を確立する。例えばCO₂やエネルギー換算を行なう。
- 2、POCは極めて早期に中性化するのでCO₂吸収性資材として取り扱うこともできる。
- 3、水質浄化や植生・藻場造成、ハビタットなど生物共生の環境評価法を確立する。

生物多様性の都市創造に貢献する

ポーラス(多孔質)コンクリート

多孔質化させた穴だらけのポーラスコンクリートは、多くの生命を育む生物のベッドであり、コンクリート自体に多様な生物の息を可能にします。

また、水や空気を自由に透すポーラスコンクリートは、生態系を維持する環境配慮型のエコマテリアルといえます。



多孔質コンクリートとは

リサイクルを促進

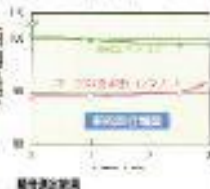
再生素材を活用できるポーラスコンクリートは、天然資源の有効活用や素材の再利用など、循環型社会の促進に寄与されます。

豪雨時の下水の氾濫抑止

舗装面に降った雨水は大地に浸透し、下水道の排水施設への負担を軽減し、都市型の下水汚染を緩和させます。

交通騒音の低減 / 自動車のしぶきをなくす

ポーラスコンクリートは、多孔質内に音を吸収し、交通騒音を低減させます。また透水効果から歩行者に対して危険なタイヤからのしぶきの跡がなくなり、安全な歩行が行えます。



環境都市大阪へ大地からの再生を

ポーラスコンクリートによる快適な空間を創造

近年の環境時代において、環境にやさしい街づくりが求められています。都市に住み、活動する全ての人々が利用する歩道や自転車道をポーラスコンクリートで多孔質化し、都市の温暖化緩和、都市の大地の透水性、そして、都市インフラとして路面の耐久性を向上させ、人に近いある、生物多様性の都市形成へつなげることができます。このように、生活の基盤となる大地(舗装面)をポーラスコンクリートとすることにより、誰もが快適で、安全・安心なバリアフリー空間を創造することを提案します。



ポーラスコンクリート舗装イメージ図
ポーラスコンクリート舗装は、雨水を舗装内に貯留することができ、様々な効果に繋がる

ヒートアイランドの抑制

多用されているアスファルト舗装から、透水・保水機能を持ったポーラスコンクリートに更新していく事で、舗装の表面温度上昇が抑制され、気化冷却効果によって都市のヒートアイランドが抑制されます。

植生・地中生態の改善

雨水が大地に浸透し、街路樹などの植物が生育しやすい都市土壌が形成されます。

歩行空間のバリアフリー化

子供から大人まで、成長過程における歩行空間の快適性は高くなり、特に子供の歩行空間は舗装表面から近く、舗装面の温度上昇の影響を受け易いといえます。地表温度上昇を抑える事で、誰もが快適な歩行空間となり、新環境におけるバリアフリー化が行えます。

