

生態系を考慮したコンクリート

ECOLOGICAL CONCRETE

玉井 元治*・河合 章**・来田 秀雄***
by Motoharu TAMAI, Akira KAWAI and Hideo KITADA

1. まえがき

セメントコンクリートは土木や建築の各種構造物として使用され、社会資本の充実をはじめ、経済や文化の発展に大きな貢献をしてきた。しかしそれらの構造物は、便利さや構造物の機能を追求するあまり、緑や水辺の自然を破壊し動植物の棲息を阻止する方向に使用されてきたのではないだろうか。例えば河川の護岸や新設道路の擁壁に使用するもの、および、リゾート開発に伴って建設された宿泊施設等のコンクリート構造物は、周辺に棲息する動植物を減少または死滅させている場合が多い。一方、都市内部においてもコンクリートのビルが乱立し、夏期には空調設備からの排熱も相俟って、ヒートアイランド現象が発生している。これらの問題点は、地球環境重視の思想が浸透してきた昨今、解決すべき大きな課題となってきた。

ここで取り扱うコンクリートは、自然との調和を考慮した動植物の棲息が可能な、多孔質化した機能性コンクリートとも言えるものを示す。

本稿では、各種多孔質材料の構造や製造法を含む生態系を考慮したコンクリートの基礎的な物性と、2～3の実施例につき記述する。

2. コンクリートと生物との接点の創造は可能か

これまでのコンクリートは、主として強度と耐久性を重視し、生物との接点は皆無の状態であった。しかし、近年、生物のうち特に植物（緑）と人間との関わりが議論されはじめ、その有益性から各種緑化法の開発研究が行われている。従来実施されているものは、コンクリートに直接植物を植生させるものではなく、箱型や井型に成形したコンクリートに客土を入れ、そこに植物を生育させる方法があり、法面の保護工等によく用いられている。また高速道路のピアやビルの壁面に写真-1のように蔦や蔓を這わせる方法は、それら植物の根系をコンクリート中に定着させるものではなく、近くの土壌に定着させなければならない。こ

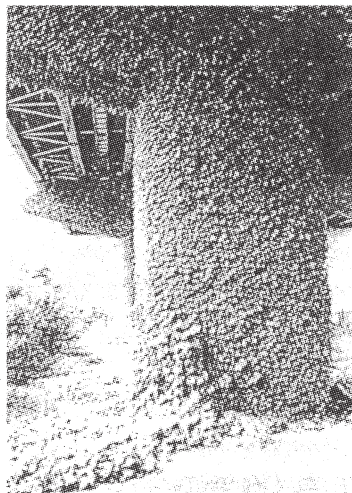


写真-1

高速道路のピアにオニツタを這わせた状態

れらに使用するコンクリートは、通気や吸水性の少ない耐久性の高い普通コンクリートが使用されている。さらに湿り気のあるコンクリートブロック積み法面に苔を付着させる場合は、普通コンクリートで差し支えないが、コンクリート打設後、数年以上経過し、表面が十分中性化していることが必要である。

道路舗装面の細いひび割れや歩道の継目部分に雑草が生え、蟻やミミズが棲息している状況は、我々が日常によく見受けていることである。この状況にヒントを受け、連続空隙を有する多孔質コンクリートまたはまぶしコンクリート：No-Fines Concrete(NFC)に生物接点を持たそうとするものである。これは、植物を植生させる場合では、直接または、その表面に薄く客土を敷き、そこに芝生や各種雑草類の種子を播種または苗を移植することによって、それらの植物を快適に生育させることができる。またNFCを法面や水際に直接設置すると、その外部表面や内部空隙に微生物や小動物類を棲息させることもできる。

3. 連続空隙を有する多孔質材料とその機能

3.1 多孔質材料（セル構造）とその製造法

連続空隙を有する多孔質材料は、水や空気を自由に透すため、近年各種材料を用いた基礎的および応用的研究がされはじめた。特にこれらは、単位体積当たり

* 近畿大学教授 理工学部土木工学科
(〒577東大阪市小若江3-4-1),

** 近畿大学教授 農学部水産学科

*** 近畿大学講師 農学部水産学科

の表面積が大きいことから水処理材や有害気体の吸着材および吸音材等の環境関連用材料としての利用が目覚ましく、セメントコンクリートにもこのような機能を保持させることが可能なため、種々の分野においても研究開発されており今後の発展が期待されている。

多孔質材料は一般にセル構造体¹⁾と呼ばれ、それらは表-1に示すように、ハニカム材とフォーム材に分けることができる。2次元ハニカム材は波板構造を接合することによって製造でき、また各種フォーム材のうち発泡剤等を用いて製造可能な3次元フォーム材は図-1に示すように、オープンセルとクローズドセルがあり、高分子系の多孔質材料に多く見受けられる。

自然界に存在する多数の天然セル構造体は、各種生物の微細な骨組み構造や天然組織に多く見られる。

そのうちコルク、バルサ、スポンジ、海綿骨の構造を図-2に示す。人工的に海綿骨様の構造を製造する方法は、粘塑性硬化材に連続繊維質素材をドブ漬けすると簡単にできる。粘塑性硬化材は高分子系の硬化材が適当であるが、セメント系の結合材でも可能である。セラミックや金属性材料から造られるフォーム材は、図-3のように固体の空隙内に熱風を吹き込むことによって各種固体粒子の表面部分を薄く溶融し粒子相互を自動的に接合する方法もある。このフォーム材の特徴は、強度が強く、しかも大きな空隙の連続多孔体を造ることができることである。これらの3次元フォーム材はセメント系材料によっても両性金属、特にアルミニウム粉末の添加によって容易に製造できるが、強度が低い点に欠点がある。

多孔質コンクリートは、骨材に粘塑性結合材をまぶして製造することが可能であり、粘塑性結合材には不飽和ポリエステルやエポキシ樹脂等の高分子系材料およびセメント系材料が使用できる。

3. 2 多孔質材料の機能

多孔質材料は種々の機能を有することが知られているが、一般に次に示すものを挙げることができる。

1) 断熱、梱包、構造、浮揚等の機能

○2) 透水性および通気性等の機能

雨水を排水し、また地下へ直接還元し、下水道水の負荷の軽減や地盤沈下を防ぐ等の機能

◎3) 各種生物、例えば微生物をはじめ動植物が棲息しやすく、自然との接点を創造する機能

○4) 交通機関や各種製品等の加工工場から発生する騒音を吸収する機能

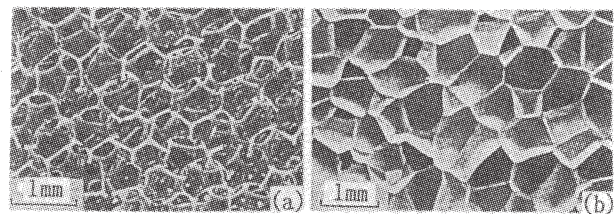
○5) 太陽熱や焼却熱等を一時的に蓄積し、また随時放出する機能

6) 多湿時には吸湿し、乾燥時には加湿する機能

以上に示す機能のうち特に3)の項目が近年注目されはじめた。

表-1 多孔質材料（セル構造）の種類とその製造法

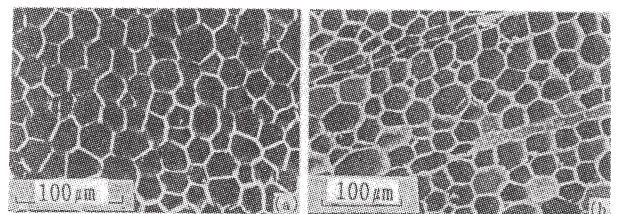
1) ハニカム	波板構造を接合する
2) フォーム	発泡剤を用い多孔化する 充填した固体粒子の表面溶融 多種類の固体粒子とそれらの溶融温度差を利用 3次元連続繊維質材と粘塑性硬化材（ディップ法） 固体粒子と粘塑性結合材（多孔質コンクリート） : Porous Concrete or No-Fines Concrete(NFC)



オープンセル

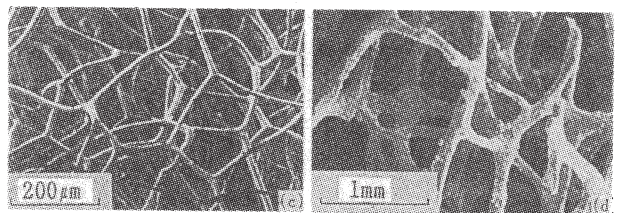
クローズドセル

図-1 3次元フォーム材



コルク

バルサ



スポンジ

海綿骨

図-2 天然セル構造体

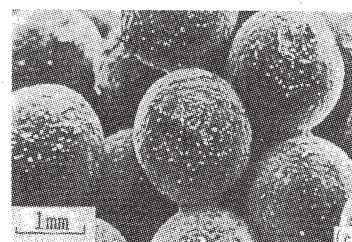


図-3 焼結アルミ球

表-2 レオロジカルな充填形式

充填形式	Slurry域	Capillary域	Funicular域		Pendular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					

表-3 球状骨材の充填形式と空隙率

充填モデル	球1個当りの 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
菱面格子充填	12	25.95	0.414R and 0.225R	5.25 (6.50)
最密充填	12	25.95		1.25

3.3 多孔質コンクリート(NFC)の構成条件²⁻³⁾

この種の材料の充填形式は表-2に示すように骨材を固相(Solid phase)セメントペーストを液相(Liquid phase)、空気を気相(Air phase)と仮定すると、ここで取り扱う連続空隙を形成させる材料の構成条件は、固相、液相、気相がそれぞれ連続な Funicularの第一領域(F-1)である必要がある。しかし透水性と通気性は低下するが、固相と液相が連続で気相が独立した Funicularの第二領域(F-2)が前述の(F-1)領域に一部含まれる場合も該当する。

3.4 骨材の充填状態とF-2の臨界空隙率²⁻³⁾

一般に均等係数の高い碎石を普通の状態で容器に充填すると空隙率は47-39%となり、充填形式は、等球径の粒子を立方格子(Simple cubic)充填(空隙:47.64%)した場合と斜方格子(Simple stagger)充填(空隙:39.54%)した場合の混合系として近似的に取り扱うことができる。これらの充填モデルにおいて、分離をおこさない粘稠なセメントペーストを球状の骨材にまぶしたと仮定し、連続空隙状態(F-1)の空隙をセメントペーストによって40% 充填した場合および独立空隙状態(F-2)に移行する最大気泡径と、そのときの空隙率を示すと、表-3のようになる。即ち、空隙率は立方格子充填では19.75%、斜方格子充填では8.89% 以上なければ連続空隙が形成されていないことを示し、それら独立空隙径の最大半径は、球の半径をR とすると、それぞれ0.723R, 0.528Rとなる。

以上の結果から、単粒子径の骨材を用い連続空隙を形成させるには、充填形式にもよるが、空隙率は20%以上あることが必要である。

4. 生物に適するNFCの製造法と物性

4.1 使用材料とコンクリートの配合

セメントは普通ポルトランドセメント(CN)、高炉セメントB種、C種(CB)、フライアッシュセメント(CF)等が使用できる。しかし遊離石灰の溶出を押え、動植物に影響を与えず、かつ耐久性を低下させないためには、C₃S(珪酸三石灰)の含有量の少ないセメントを用いるか、ポゾラン材が混入されたセメントを使用することが望ましい。骨材は5号(20-13mm)、6号(13-5mm)等、粒径の等しい碎石(G)が適当である。

多孔質コンクリートの配合は、強度と連続空隙をどの程度保持させるかがポイントであり、植物を植生する場合には根が侵入しやすい空隙径とする必要があり、骨材は5号碎石程度が適当と考えられる。微生物や小動物を棲息させる場合、通気性や透水性を考慮すると6号碎石以上の骨材を用いることが適当である。

5号碎石の粒子を球と仮定し、使用した骨材の平均粒径(R₀)を算出すると約13mm となる。これを用いてNFCを作成し、独立空隙となる最大空隙径は、立方格子充填した場合には0.723R₀=9mmとなる。また空隙の最小粒子間隙は、0.828R₀=10.8mmとなることから、骨材に付着する結合材厚さを引いた値となり、一般的には最大空隙径は9.5mm 程度となる。

生物に適する多孔質コンクリートの代表的な配合は表-4に示すように単位粗骨材量を一定とし、骨材の空隙に分離を起こさない結合材を適量充填する方法が合理的な配合法であると考えられる。なお実用的な骨材空隙への結合材の充填率は25-50%であり、その水-セメント比または結合材比はニートセメントペースト

表-4 NFCの配合

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	—	1540	2.96
B	CB	—	25	72.5	290	—	1540	2.18
C	CN+SF	20	25	69.5	222	55.6	1540	5.6

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

では35-50%、高強度化を図る場合には、高性能減水剤 (Sp)を適量添加し、20-30%にすることが適当である。さらに骨材に付着するセメントペーストのレオロジー特性と強度特性を改善するためには、(Sp)とシリカフューム(SF)のような微粒なポゾラン質の充填材料を混入することが適切である。

4. 2 製造方法

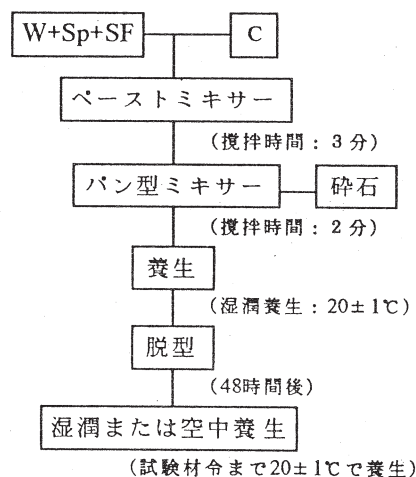
NFCの製造は、全材料を強制ミキサーに入れ一度に練り混ぜる方法も可能であるが、図-4に示す例のように、結合材はペーストミキサーにより練り混ぜ、続いて所定量の骨材と結合材を計量し、各種強制ミキサーを用いて練り混ぜる分離方法が適切である。

NFCの打設は、実験室では厚さを10cmまでとし、 $\phi 16 \times 50 \text{ cm}$ の突き棒と表面振動用バイブレーター（表面圧力： $6 \sim 7 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ ）により行い、所定の形状に作成できる。二次製品の製造は、加圧振動法を用いて自動的に多量製造も可能と考えられる。供試体の養生は、実験室では打設後2日間空中湿布養生、以降水中または空中養生を行なえばよい。二次製品の場合では、通常の蒸気養生を行い、以降養生ヤードで自然養生を行うことが適当である。

それらのNFCに、直接植物を生育させる場合は、NFCの空隙をパーミキュライトのような保水性の良い土で埋めると、コンクリート製の植生床ができる。なお肥料は表面を薄く覆う客土中に粒状物を混入するか、植物を植生後、各種養分を含む液状または粒状の肥料を施肥すればよい。水際にNFCを設置または沈漬して微生物や小動物類を棲息させる場合は、表面をできるだけ中性化させた後、使用することが適切である。

4. 3 コンクリートの物性試験方法

- (1) 透水性試験：水頭(H)を30cmとしてJIS A 1218に準じて実施
- (2) 各種強度試験：JIS法による
- (3) 遊離石灰の溶出試験：各種養生を行なったφ10×20cmの供試体を2リッターの清水中に24時間沈漬させ、pHをD-14型pHメーターによって測定できる。



注 W: 水, Sp: 高性能減水剤,
SF: シリカフューム, C: セメント

図-4 NFCの製造方法

4. 4 多孔質コンクリートの物性

(1) 結合材の性質

連続空隙を有する NFC の製造法のポイントは、製造時にある程度振動を与えても骨材から分離をしない結合材のコンシステンシー、つまりレオロジー量とその充填量に関係し、かつ Funicular の第一領域が形成されている必要がある^{4, 5)}。例えば、結合材のレオロジー量が低いと骨材から垂れ落ち、高過ぎると骨材に結合材が均質に付着しないことになる。また NFC の空隙率が同じで、骨材の粒径を大きくすると、付着する結合材の厚さも比例して大きくなる。そこで骨材から結合材が垂れ落ちないためには、レオロジー量も大きくする必要がある。6号碎石(13-5mm)を骨材として用いた場合には、結合材の降伏値は 20-80Pa、塑性粘度は 10Pa・s 以上が適当である。骨材空隙への結合材の充填率が一定の場合、使用する骨材径と骨材に付着する結合材厚さは比例する。従って、製造時に分離をしないペーストのレオロジー量と使用する骨材径とは比例するものとして取り扱う必要がある。

(2) 透水性

一般に、砂の透水係数は、中砂(0.25~0.50mm)では0.85mm/s、粗砂(0.5~1.0mm)で3.5mm/s 程度とされて

いる。動植物の棲息に対しては、それらの種類によって相違するが、透水性からは細砂以上が適当と考えられる。NFCの透水係数と各種骨材への空隙充填率の関係は図-5に示すように、使用する粗骨材の粒径に比例し、結合材量に反比例の関係を示す。この結果から8号以上の骨材を使用し、骨材の空隙に対し結合材の充填率を50%以下にすれば動植物の棲息は可能と考えられるが、動植物の種類によって大きさが変化するため、透水係数だけでは処理できず、むしろ空隙径によることが望ましい。これには骨材の粒径を適時選定することで対応が可能と考えられる。

(3) 空隙径

NFCの空隙径とその配列は、骨材の粒径と結合材の量に依存する。6号砕石を用い、骨材空隙に対し結合材を30%充填すると、平均空隙径は5mm程度となり、その配列は不規則となる。例えば植生に適するNFCの空隙径は、植物の根系の性質によって相違するが、空隙内に保水性を有する土を充填するためには、5mm以上の連続空隙が形成されていることが望ましい。芝生類の根は浅く横に広がる性質があるため空隙径が小さくてもNFCの保水性と排水性が良好で表面に2cm以上の客土があれば植生が可能である。しかし、一般の雑草類は直根形が多く、根が深く土中に侵入するため、空隙径の大きな骨材として5号骨材程度を用いたNFCが望ましい。

(4) 強度特性

図-6は骨材として5、6号砕石を用い、結合材にはCN、CB、CN+SFを用いた場合の圧縮強度と材令の関係を示す。結合材にCNを用いると、初期から長期にわたり安定な強度の伸びを示すのに対し、CBやCN+SFを用いると、初期強度は低い、長期強度の伸びが大きいことを示す。また、圧縮強度は骨材の粒径に反比例の関係を示す。これは供試体の大きさにもよるが、単位体積当たりの骨材の接点個数が急激に低下することに関係するためと考えられる。

NFCの曲げおよび引張強度は、ブリージングがないことや骨材と結合材との付着が著しく良い点から、圧縮強度に対する強度比は、それぞれ普通コンクリートの値に比べ、かなり大きな値を示す⁶⁾。

(5) 遊離石灰の溶出

NFCは、表面の凹凸と同じく内部表面積が極めて大きい、降雨や散水時には遊離石灰の溶出が著しく、特に初期においては、それが動植物に悪影響を与える場合がある。またそれらの現象は、粗骨材をまぶした薄い結合材の皮膜を劣化させ、延いては耐久性を低下させることになる。これらの点を考慮し、NFCを構成する結合材にシリカフュームの添加や高炉セメントを用い、ポゾラン反応させることによって、遊離

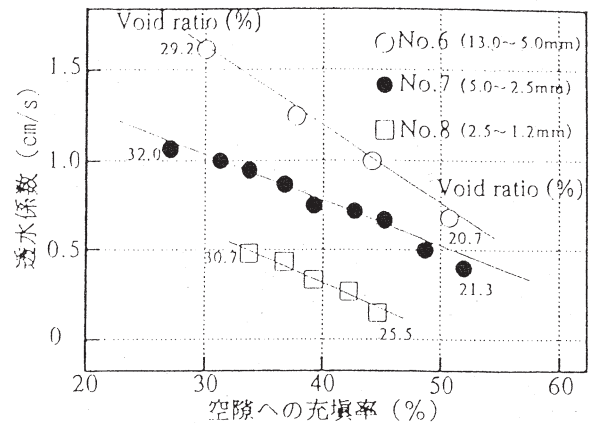


図-5 各種骨材を用いたNFCの透水係数と空隙充填率の関係

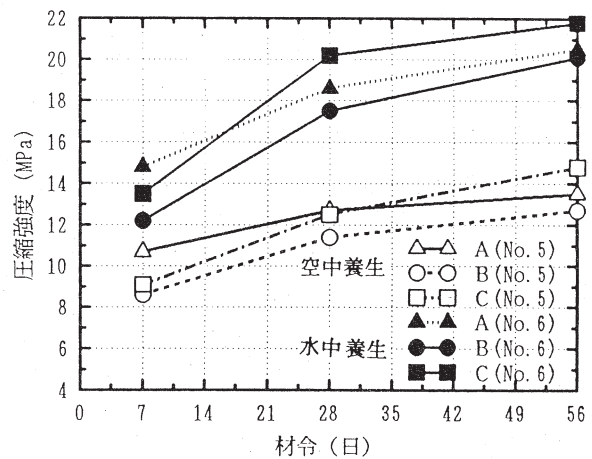


図-6 NFCの材令と圧縮強度

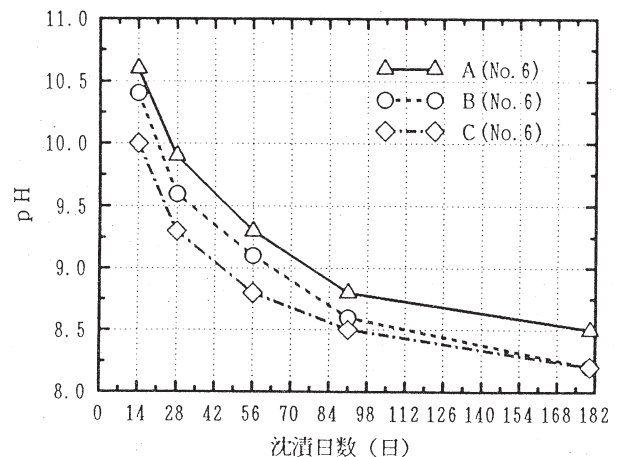


図-7 河川に沈漬した供試体のpH

石灰の溶出を押さえ、それらの欠点を改良することが望ましい⁴⁾。図-7は6号碎石を用いA, B, C配合として、 $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ 供試体を28日間石灰飽和水中で養生後、14~180日の期間都市河川に沈漬し、pHを測定した値を示す。

5. NFCを用いた生物の棲息性

生物に優しいNFCは、現場打設または二次製品を現場に設置後、空隙表面を中性化させるため3ヵ月程度自然状態で放置する必要がある。早期に植物の植生や動物を棲息させたい場合には、液状化した硫酸第二鉄等をNFCに噴霧し中性化させることができる。

5. 1 陸性植物の植生

植生実験に用いた供試体の養生は、屋外で自然養生し1ヵ月以上経過したものをを用いた。

1) 芝生の植生

100×100×10cmの板状供試体の表面に川砂を1cmの厚さで敷き均し、高麗芝の張り芝を行い、その生育状態を調査した。その結果NFCへの張り芝は、排水が良好なため成育環境に適し、3ヵ月後には連続空隙中への根の侵入も認められた。なお3種類の配合が芝生の植生に与える影響は殆ど認められなかった。また雑草類は3ヵ月で周囲に自然に植生し、コンクリート板の空隙中への根の侵入も同様に確認された。しかし此等の材料は、排水性が良いために、逆に保水性が悪く、日照りが続く場合にはスプリンクラー等による散水が望ましい。(写真-2)

(2) 雑草類

30×30×10cmの板状供試体の表面に種々な雑草類の移植、挿し木および種子を播種し発芽と生育状態を調査した。移植にはオオバコ、挿し木にはノハカタカラクサを発芽実験にはオオバコとコブナグサをそれぞれ用いた。30×30×10cmの板状供試体の表面部の空隙を川砂で埋め、移植とその生育状態および種々な雑草類の種子を播種し、発芽と生育状態を調査した。(写真-4~5参照)この結果、5号碎石を用いたオオバコの移植試験は良好であった。また、挿し木を行なったノハカタカラクサも良好に生育することが認められた。その内、根の張り具合は、5号碎石を用いたものが最も良好である。オオバコとコブナグサを用いた発芽実験も良好となった。また張り芝を行った周囲にはスベリヒユ等の雑草が自然に生育した。

(3) 蔦類

10×10×40cmの柱状供試体に蔦類を這わせ、NFCの表面への根の付着状態および空隙への根の侵入状態は、吸盤状の定着装置のあるツタ類はむしろ普通コンクリートの方がよく、7号碎石を用いたものがそれに続き、5号碎石を用いたものは劣る傾向を示した。しか

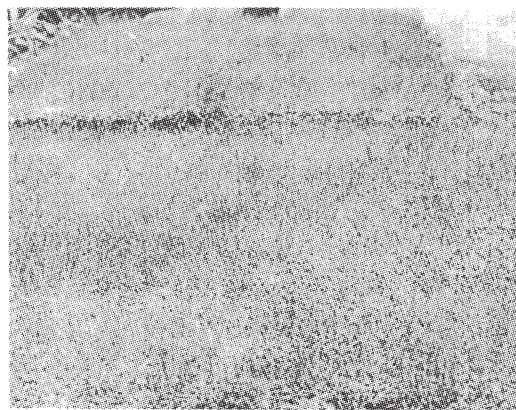


写真-2 張り芝の生育状態(植生後3ヵ月)



写真-3 移植したオオバコの生育状態(植生後16日)



写真-4 播種したコブナグサの生育状態(播種後25日)



写真-5 ノハカタカラクサの生育状態(植生後26日)



写真-6 各種蔦類の付着状態(植生後60日)

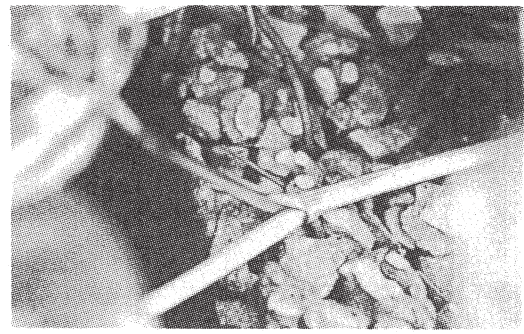


写真-7 ポトスの根の侵入状態(植生後60日)

しポトスのように大型の根によって定着する植物では、5号および6号碎石を用いたものの空隙に根が侵入し強固に定着することが解った。(写真-6～7参照)このように覆土がない場合には、直接、各種蔦類を這わすことができるが、それぞれの植物の定着特性を考慮し、骨材粒径を選定することが適切であると考えられる。

5. 2 水性生物の付着

表-3の配合でφ15×30cmの供試体を沿岸域の海水中(-100～-150cm)に沈漬すると各種海洋生物がNFCの内外表面に付着繁殖し早期に生物環境を良好にする。

1) 細菌類

海水中では沈漬10日間で表面部の中性化が進行し、細菌類の付着が始まる。海水の流入による内部空隙の中性化は、1ヵ月程度と予測される。その頃から内部表面にも好気性従属栄養細菌と、やや遅れて硝化系細菌群が付着・繁殖しはじめ、海水中の有機物質を活発に無機化する。

2) 単細胞藻類

細菌類の付着より遅れて、光の入る表面部に各種単細胞藻類が付着するが、その種類の大部分のものは珪藻類である。この経過において、細菌類の付着量は減衰する。

3) 大型藻類

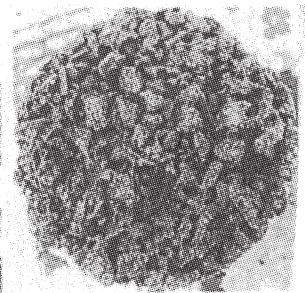
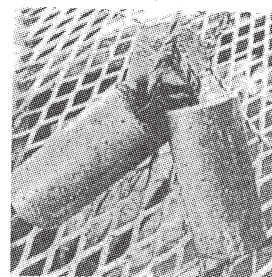
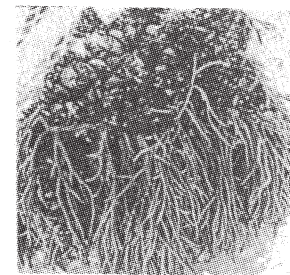
アナアオサ等の付着が14日位から始まる。水域によっては3ヵ月程度経過すると、シラモやミル等の付着も確認される。

4) 小動物類

繊毛虫綱、線虫綱、多毛綱、甲殻綱等の付着または内部への侵入は、20日位から始まり、特に初期には甲殻綱の幼体付着または内部への侵入が多い。2ヵ月程度経過すると内部空隙にゴカイ類が多数侵入することも明らかになった。

5) 貝類

マガキ、イワフジツボ等が沈漬30日位で付着し始め

写真-8
沈漬前のNFC供試体
(φ15×30cm)写真-9
沈漬後30日目の
NFCへの生物付着状態写真-10
沈漬後30日目の
普通コンクリートの状態写真-11
沈漬後89日目の状態
フジツボ、カキ類の大量付着がみられる写真-12
沈漬後89日目の状態
カイヌン、各種藻類の大量付着がみられる写真-13
沈漬後1年目の状態
ムラサキイガイ、ミル等の大量付着がみられる

その後ムラサキイガイ等が付着する。

一般に海洋生物の付着は季節的要因により大きく変化し、供試体を沈漬する時期によって相違するが、3・6 ヶ月経過すると、これら各種生物が相互に複層化して付着し、1年以上経過すると周辺海域の生物環境に類似またはそれに勝環境を形成する。

写真-8は海中に沈漬する前のNFC供試体を、写真-9～13は、NFCまたは普通コンクリートの供試体(φ15×30cm)を淡路江崎栈橋において30日～1年間海水中に沈漬した状態を示す。

6. 結 び

以上のようにセル構造体の一種である連続空隙を有する多孔質コンクリートは、空隙径や強度の制御が可能であるばかりでなく、水や空気を自由に通すため、動植物の棲息に適したコンクリートであると考えられる。特にこれを、海岸域のみならず河川や湖沼等の水際に設置すると、植物のみならず微生物や小動物類も棲息し、生物環境を良好にすることが期待される。

謝辞：本研究は平成5年度(財)漁港漁村建設技術研究所研究助成金、私学振興財団および近畿大学環境科学研究所研究助成金等によった。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 大塚正久 訳：セル構造体(L. J. Gibson, M. F. Ashby: Cellular Solids Structure & Properties)内田老鶴圃、1993
- 2) 玉井元治：連続空隙を有する固化体の透水性、セメント技術年報、42, pp. 591-594, 1988
- 3) 玉井元治：透水性コンクリート、コンクリート工学、Vol. 32, No. 7, pp. 134-138, 1994. 7
- 4) 玉井元治・田中光雄：軽石を用いたまぶしコンクリートの吸音特性、セメントコンクリート論文集 No. 46, pp. 892-897, 1992. 12
- 5) 玉井元治・河合章・東田秀雄：まぶしコンクリートの海中における性質と水質浄化の可能性、セメントコンクリート論文集、No. 46, pp. 880-885, 1992. 12
- 6) 玉井元治・河合章：連続空隙を有するコンクリートに付着する海洋生物の遷移に関する研究、土木学会論文集、No. 452/II-20, pp. 81-90, 1992. 8
- 7) 中野祐司・堀口剛：ボースコンクリートの緑化事例について、「コンクリート構造物の緑化」に関するシンポジウム論文集、pp. 43-46, 1993. 9
- 8) Tamai, M: Properties of No-Fines Concrete Containing Silica Fume, ACI SP-114, pp. 799-814, 1989. 6
- 9) 玉井元治・杉野守・芦田繁：連続空隙を有するボースコンクリートを用いた緑化に関する研究「コンクリート構造物の緑化」に関するシンポジウム論文集、pp. 37-42, 1993. 9