

## エコクリートの開発とその実用化

田中 博一 (技術研究所) 栗田 守朗 (技術研究所) 小林 幸男 (技術研究所) 萩原 運弘 (技術研究所) 江渡 正満 (土木本部) 戸栗 智仁 (土木本部) 武川 芳広 (土木本部)

### Development and Application of Ecolo-crete (Planted Porous Concrete)

by Hirokazu Tanaka, Morio Kurita, Yukio Kobayashi, Kazuhiro Hagihara, Masamitsu Eto, Satohito Toguri and Yoshihiro Mukawa

#### Abstract

Ecolo-crete has been developed as one of technologies in harmony with nature which meet the social needs such as urban greening. Ecolo-crete is planted porous concrete with strength, function and economy expected for concrete. It is characterized by holding continuous void inside, being able to cast in place, keeping the required strength on a river bank and so on. The main contents of development were the study of strength properties, the establishment of construction method and quality control test in the fresh state. This paper describes about the details of development and the case of application on a river bank.

#### 概 要

多自然型工法、都市緑化等の社会的ニーズに応える「自然と共生を目指す技術」の一つとしてエコクリートを開発し、いくつかの現場に適用した。エコクリートは、コンクリートに期待される強度、機能性、経済性等に加え、「植生機能」を兼ね備えたポーラスコンクリートである。その特徴は、(1)植物の生育を可能とする連続空隙を有すること、(2)現場打ちで施工できること、(3)河川護岸に必要な強度を有していること、などが挙げられる。主な開発内容は、(1)強度特性の把握、(2)施工方法の確立、(3)製造時の品質管理方法の確立などである。本報告では、エコクリートの開発の詳細および河川護岸への適用事例について報告する。

#### § 1. はじめに

従来、土木あるいは建築構造物は機能性が重視され、標準化による効率的な社会資本の充実が図られてきた。その結果、コンクリートは自然と対立するものというイメージが一般的にもたれている。一方、近年、環境に対する社会的な意識が向上するに伴い、あらゆる分野において自然との調和あるいは共生を目指して様々な試みがなされている。こうした流れの中で、河川法が改正され、河川護岸においても、治水の確保のみならず河川環境の整備とその保全が目的に加えられた。その結果、設計流速が大きい場合、上流から流木や大きな石が流れてくる可能性がある場合など、コンクリートを使う必要がある箇所においても、コンクリートが見えないように緑化することが望まれている。

コンクリート構造物の緑化方法には、例えば、のり面に配置した各々のコンクリートブロックの隙間に土をいれて植栽するなどの方法がある。しかし、この方法では、部分的にしか緑化できない、雨などによる浸

食により流出してしまい植生を長期的に維持することが困難であるといった問題点がある。これらの問題点を改善する方法として、最近、コンクリート内部に連続した空隙を確保することで植生基盤材として機能できるポーラスコンクリートが注目を浴びている<sup>1)~4)</sup>。河川護岸においても、ポーラスコンクリートの適用事例が増加しており、すでに全国で40箇所以上の試験施工が実施されている<sup>3)</sup>。

ポーラスコンクリートの施工は、工場生産されるプレキャストブロックを用いる方法と現場打ちで行う方法<sup>5)~6)</sup>とがある。現場打ち施工は、プレキャストブロックを用いる方法と比較して、一体性が強く安定性が高いこと、施工速度が早いこと、経済的であることなどの利点がある。

当社では、現場打ち施工ができる緑化コンクリートとして「エコクリート」を開発してきた<sup>7)~10)</sup>。開発過程において、いくつかの現場で試験施工を行った結果、締固め時に表面の空隙が目詰まりしやすい、フレッシュ時の品質管理方法が確立されていないといっ

た技術的な課題が明らかになった。また、エコロクリートに対する要求性能が多様化（植生主体あるいは強度主体など）してきており、それに対応するエコロクリートの配合を開発する必要性が生じた。

本開発では、要求性能に対応する配合の設計方法を確立し、前述の技術課題を改善するために以下に示す検討を実施した。

- 1) 要求性能に応じた配合の検討  
(圧縮強度特性からの検討)
- 2) 締固め時に空隙が目詰まりしない施工方法の検討
- 3) フレッシュ時の品質管理方法の検討

以下に検討結果および河川護岸への適用事例について報告する。

## § 2. エコロクリートの目標性能

### (1) 空隙率

植物の生育を可能とするため、空隙率を20%以上確保する。これまでの河川護岸におけるポーラスコンクリートの施工事例においては、空隙率は18～30%程度に設定され、施工後の調査により空隙率25%以上の場合で植生の被度が80～100%と非常に高くなっている<sup>11)</sup>。しかし、空隙率20%程度でも植生の被度が70%程度得られている場合もあり、強度が要求される場合には空隙率を小さくする必要があるため、エコロクリートの空隙率の目標値を20%程度以上とした。

### (2) 圧縮強度

河川護岸に必要な強度である10N/mm<sup>2</sup>以上を満足する。河川護岸に適用するポーラスコンクリートの圧縮強度については、既往の文献<sup>12)</sup>で10N/mm<sup>2</sup>以上と報告されている。

### (3) 施工性

エコロクリートの汎用性を高めるために、特殊な材料を用いず、市中のレディーミクストコンクリート工場に製造できる。

要因	水準	条件
水セメント比	25%、30%、35%	空隙率一定
空隙率	5%～30%	水セメント比30%
粗骨材粒径	5～10mm、 10～15mm、 15～20mm	空隙率一定 単位粗骨材量一定
締固め方法	振動無し、振動有り	空隙率一定

表－1 要因と水準

締固め時に空隙が目詰まりを生じないように現場打ちで施工できる。

## § 3. 要求性能に応じた配合の検討 (圧縮強度特性からの検討)

### 3.1 要因と水準

実験の要因と水準を表－1に示す。

#### 3.1.1 水セメント比

普通コンクリートでは、水セメント比が圧縮強度に及ぼす影響が大きいので、同様な傾向がエコロクリートに認められるかどうかを検討した。

#### 3.1.2 空隙率

ポーラスコンクリートの圧縮強度は、一般的に空隙率により大きく影響を受ける。エコロクリートの空隙率と圧縮強度の関係を把握するため、空隙率1.7%（普通コンクリートの空気量を想定）から30%までの範囲で検討した。

#### 3.1.3 粗骨材粒径

空隙率が同じである場合、粗骨材の粒径が大きい程空隙径が大きくなる。そのため、根が太い植物を生育させる場合、粗骨材の粒径を大きくする場合も考えられる。そこで、粗骨材粒径が変化した場合の圧縮強度に及ぼす影響を検討した。

#### 3.1.4 締固め方法

締固め時に振動を与える場合（型枠振動機を用いて締め固める）と与えない場合（突き棒で締め固める）について検討した。

### 3.2 使用材料および配合

使用材料を表－2に、配合を表－3に示す。水セメント比の影響を検討した配合はNo.1、3、11～14であり、空隙率の影響を検討した配合はNo.1～10であり、粗骨材粒径の影響あるいは締固め方法の影響を検討し

材料	仕様
セメント	普通ポルトランドセメント 密度：3.15g/cm <sup>3</sup> 、比表面積：3250cm <sup>2</sup> /g
細骨材	静岡県浜岡産陸砂 表乾密度：2.58g/cm <sup>3</sup> 、FM：2.81
粗骨材	東京都青梅産硬質砂岩碎石 表乾密度：2.65g/cm <sup>3</sup> 、FM：6.75
AE減水剤	リグニンスルホン酸系

表－2 使用材料

た配合はNo.1、3である。

### 3.3 練混ぜ方法および供試体作製方法

エコロクリートの練混ぜには容量50lのパン型ミキサを使用し、セメント、細骨材、粗骨材を投入し10秒間空練りを行った後、水および混和剤を投入しさらに60秒間練り混ぜた。

供試体の形状は、締固め方法の影響を検討する場合は、 $\phi 30 \times 60\text{cm}$ の円柱とし、それ以外の場合は、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱とした。供試体の本数は、 $\phi 30 \times 60\text{cm}$ については各配合ごとに1本ずつ、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ については各配合の各材齢ごとに3本ずつとした。

供試体は、あらかじめ算定した型枠容積分の質量のコンクリートを計量し、ほぼ等しい3層に分けて締固め作製した。締固めは、締固め方法の影響を検討する場合は、振動無し（突き棒で各層50回突く）および振動有り（9000～10000vpmの型枠振動パイプレータを用いて各層において十分に締固めを行う）の2種類の方法により行った。それ以外の場合は、突き棒により各層10回程度突き、3層目を突いた後、型枠振動パイプレータ（9000～10000vpm）を用いて打込み面が平坦になるまで軽く押し当てるようにして締め固めた。

供試体は、材齢1日まで室温20℃、相対湿度80%の室内に静置した後、所定の材齢まで20℃の水中に養生し、材齢7日および28日において圧縮強度試験を実施した。

### 3.4 結果および考察

#### 3.4.1 水セメント比の影響

水セメント比と材齢7日の圧縮強度の関係を図-1に示す。空隙率21%および30%のいずれにおいても、水セメント比によらず、ほぼ同程度の圧縮強度となった。したがって、エコロクリートでは、普通のコンクリートとは異なり水セメント比説は成立せず、水セメント比は圧縮強度にほとんど影響を及ぼさないことが明らかとなった。材齢28日においても同様な傾向が認められた。しかし、水セメント比が圧縮強度に影響を与えるという報告<sup>12)、13)</sup>もあるため、今後さらに検討する必要があると考えられる。

#### 3.4.2 空隙率の影響

空隙率（空気量）と材齢7日および28日の圧縮強度の関係を図-2に示す。材齢7日および28日のいずれにおいても、空隙率と圧縮強度の関係は相関性が高く、空隙率が大きくなるにつれ圧縮強度がほぼ直線的に減少した。

図-2より空隙率20%の場合で圧縮強度が20N/mm<sup>2</sup>程度であり、圧縮強度が10N/mm<sup>2</sup>の場合で空隙率が30%程度であることから、§2.に示した目標性能を

配合No.	W/C (%)	M/G (%)	空隙率 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 (g/m <sup>3</sup> )
				W	C	S	G	
1	30	25	30	58	195	50	1486	48.7
2	30	34	25	73	243	103	1486	60.7
3	30	41	21	85	283	143	1486	70.7
4	30	47	21	88	293	180	1434	73.2
5	30	57	21	91	303	244	1354	75.7
6	30	46	18	96	321	160	1486	80.2
7	30	60	10	125	419	209	1486	104.7*
8	30	100	5	168	560	420	1186	1680*
9	30	150	5	168	560	526	1060	560*
10	30	222	1.7**	168	560	758	821	5600*
11	25	41	21	85	340	93	1486	85.0
12	35	41	21	85	243	173	1486	60.7
13	25	25	30	58	232	21	1486	58.0
14	35	25	30	58	165	75	1486	41.2

\* : 高性能AE減水剤, 他はAE減水剤を使用  
\*\* : JISA1128準じて測定した空気量

表-3 配合

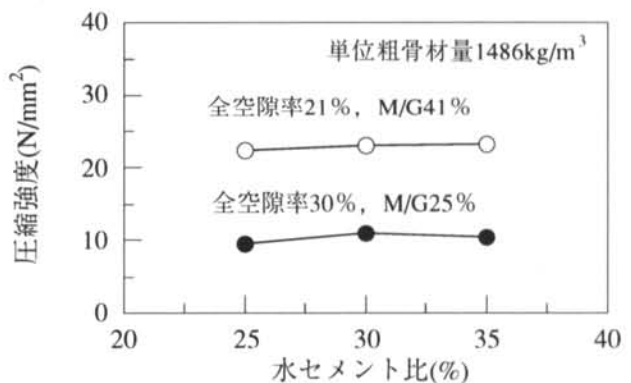


図-1 水セメント比と圧縮強度の関係

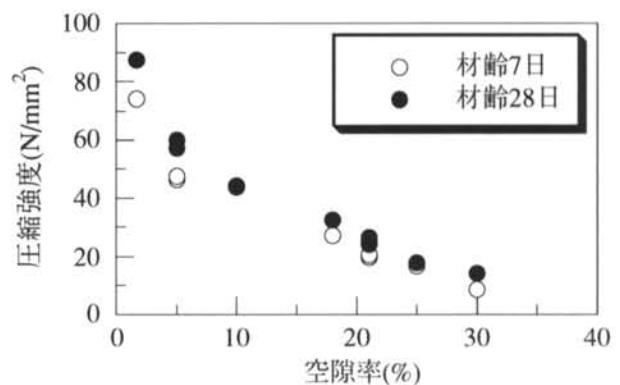


図-2 空隙率（空気量）と圧縮強度の関係

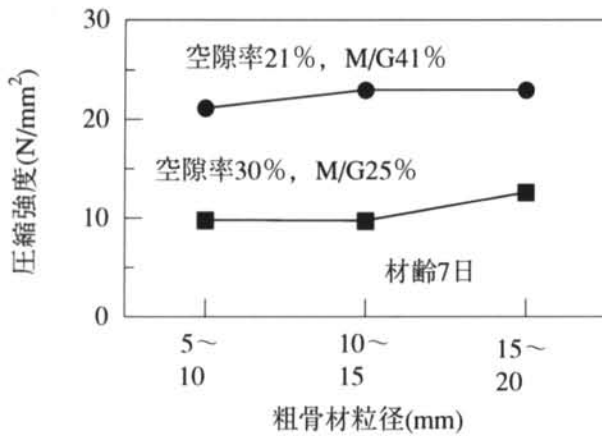


図-3 粗骨材の粒径と圧縮強度の関係

満足するエコロクリートの空隙率の範囲は20%~30%程度であり、その場合得られる圧縮強度は20N/mm<sup>2</sup>~10N/mm<sup>2</sup>程度になることが明らかになった。

エコロクリートの空隙率と圧縮強度の関係が明らかとなったので、要求される性能に応じて圧縮強度あるいは空隙率を設定することで配合設計ができる。例えば、必要な圧縮強度が15N/mm<sup>2</sup>である場合、図-2より空隙率を25%程度に設定して配合設計を行えばよい。

### 3.4.3 粗骨材粒径の影響

単位粗骨材量を一定とした場合の粗骨材粒径と材齢7日の圧縮強度の関係を図-3に示す。空隙率21%および30%のいずれの場合においても、粒径が大きくなるにつれて強度が若干大きくなるものの、その差は最大で3N/mm<sup>2</sup>以下であり明確な差ではない。空隙率が一定であれば、粗骨材の粒径は圧縮強度には影響をほとんど及ぼさないと考えられる。材齢28日においても同様な傾向が認められた。

### 3.4.4 締固め方法の影響

締固め方法と材齢28日の圧縮強度の関係を図-4に示す。空隙率21%および30%のいずれにおいても、振動を与えない場合、振動を与えた場合より圧縮強度が低下した。圧縮強度の低下量は空隙率21%の場合の方が空隙率30%の場合より顕著であった。したがって、所要の圧縮強度を得るためには、締固め時には振動を与えることが重要であることが明らかになった。

## 3.5 要求性能に応じた配合の検討(圧縮強度からの検討)のまとめ

エコロクリートの基礎物性である圧縮強度特性を検討した結果、水セメント比、粗骨材粒径の影響は小さく、空隙率が圧縮強度特性の支配的な要因であることが明らかになった。したがって、空隙率と圧縮強度の関係から、要求性能に応じた配合設計を行うことがで

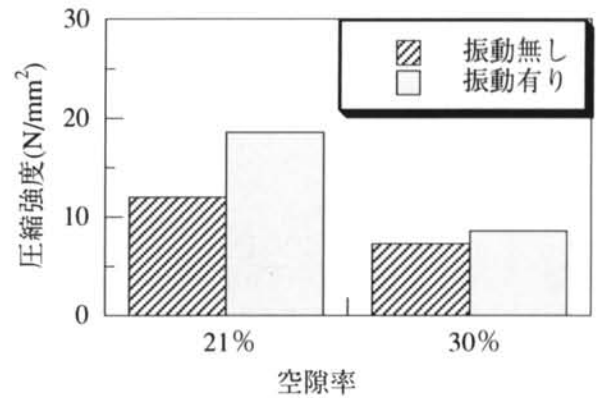


図-4 締固め方法と圧縮強度の関係

きる。また、締固め時に振動を与えない場合、圧縮強度が低下するので、振動を与えることが重要であることが明らかになった。

## §4. 施工方法の検討

エコロクリートの施工方法を確立するため、実施工モデル試験体を用いて、締固め方法を要因として検討した。

### 4.1 実験概要

使用材料は、汎用性を考慮しレディーミクストコンクリート工場で通常使用されている材料を使用した。使用材料を表-4に、配合を表-5に示す。エコロクリートは、レディーミクストコンクリート工場にて容量3m<sup>3</sup>の強制2軸練りのミキサを使用して製造した。

モデル試験体は、形状をたて200cm×よこ200cm×厚さ20cmとし、2割勾配ののり面に型枠を設置し作製した。打込みはバックホウを用いて行い、小型の振動コンパクタを用いて振動を与えて締め固めた。

試験体の種類を表-6に示す。試験要因は、基盤の種類、締固め方法、締固め方向とした。基盤の種類は、現地の地盤がN=3以下と非常に軟弱であったので、基盤の影響を検討するために、コンクリートを打込む基盤の種類は、碎石を15cmの厚さで敷設したものと原地盤を人力土羽打ちで仕上げたものの2種類とした。締固め方法は、表面の空隙の目詰まりを抑制するために合板を敷設した上から行う方法(写真-1参照)と合板を敷設せず直接締め固める方法の2種類とした。締固め方向は、のり面に対して垂直方向(写真-1参照)と重力方向(写真-2参照)の2種類とした。

材齢26日において、φ100mmのコアを各材齢につき4本ずつ採取し、材齢28日において空隙率、圧縮強

材料	仕様
セメント	普通ポルトランドセメント 密度3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	栃木県下都賀郡大平洋町産山砂 表乾密度2.58g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	栃木県下都賀郡大平洋町産碎石 表乾密度2.72g/cm <sup>3</sup>
混和剤	AE減水剤

表-4 使用材料

度を測定した。また、比較のため、φ100×200mmの標準養生供試体についても空隙率、材齢28日の圧縮強度を測定した。

#### 4.2 結果および考察

##### 4.2.1 基盤の種類の影響

###### 1) 空隙率

基盤を碎石とした試験体No.1および2と原地盤とした試験体No.3および4の全空隙率を図-5に示す。原地盤は、碎石と比較して、いずれの締固め方法においても、全空隙率が3%程度大きくなった。連続空隙率についても同様であった。これは、原地盤の場合、締固め時に基盤が沈下したためと考えられる。

###### 2) 圧縮強度

基盤を碎石とした試験体No.1および2と原地盤とした試験体No.3および4の圧縮強度を図-6に示す。原地盤は、碎石を敷いた基盤と比較して、圧縮強度は若干小さくなった。これは、先述したように原地盤での全空隙率が碎石を敷いた基盤と比較して大きくなったためと考えられる。また、いずれの基盤においても、河川護岸に必要な圧縮強度である10N/mm<sup>2</sup>以上を満足した。

以上の結果より、エコロクリートを打込む基盤が軟らか過ぎる場合、締固め時に基盤が沈下し空隙率および圧縮強度がばらつく可能性があることがわかった。一方、植物の根がエコロクリートを貫通し基盤に達した場合、碎石より原地盤の方が植物にとって好ましい。また、基盤が硬すぎる場合、植物の根が侵入できないことも考えられる。したがって、打込み基盤は適度な硬さに仕上げる必要がある。

##### 4.2.2 締固め方法の影響

###### 1) 空隙率

直接締め固めた試験体No.1および3と合板を敷設して締め固めた試験体No.2および4の全空隙率を図-7に示す。基盤の種類によらず、合板を敷設した場合は、直接締め固めた場合より全空隙率が大きくなっ

W/C (%)	全空隙率 (%)	単用量(kg/m <sup>3</sup> )				AE減水剤 (C×%)
		W	C	S	G	
30	21	85	283	142	1523	0.025

表-5 配合

試験体 No.	基盤の種類	締固め方法	締固め方向
1	碎石	合板不使用	のり面垂直
2	碎石	合板使用	のり面垂直
3	原地盤	合板不使用	のり面垂直
4	原地盤	合板使用	のり面垂直
5	碎石	合板不使用	重力方向

表-6 試験体の種類



写真-1 締固め状況 (のり面垂直方向)



写真-2 締固め状況 (重力方向)

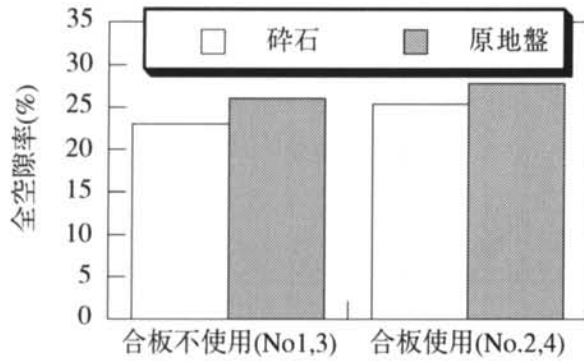


図-5 空隙率に及ぼす基盤の種類の影響

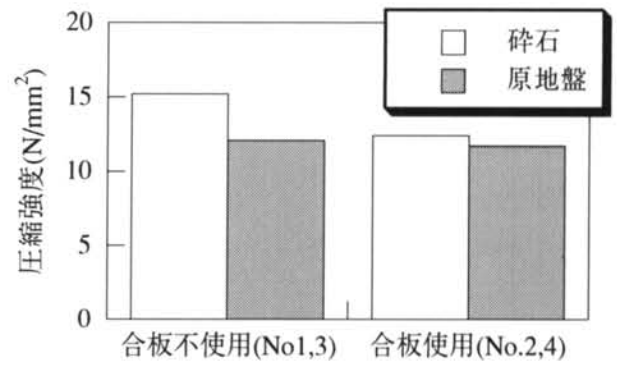


図-6 圧縮強度に及ぼす基盤の種類の影響

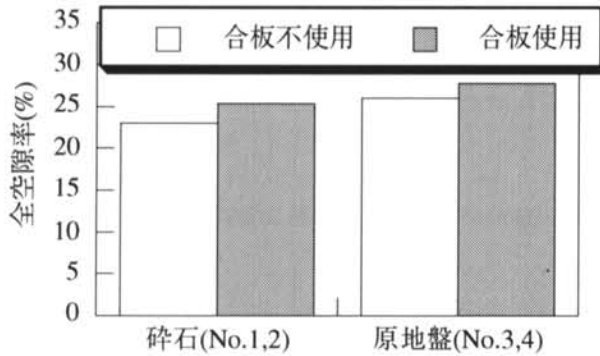


図-7 空隙率に及ぼす締固め方法の影響

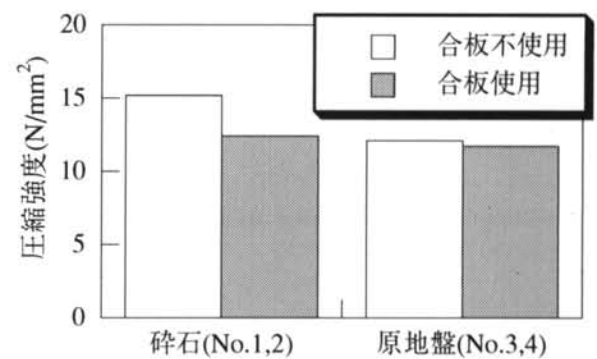


図-8 圧縮強度に及ぼす締固め方法の影響

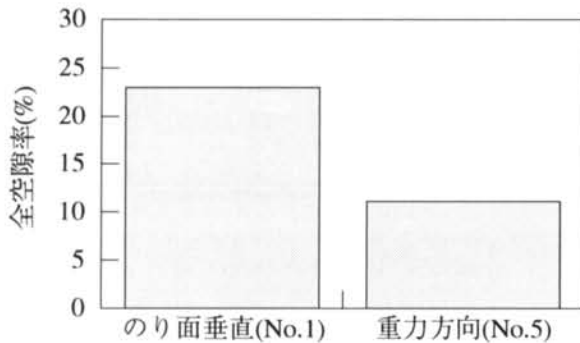


図-9 空隙率に及ぼす締固め方向の影響

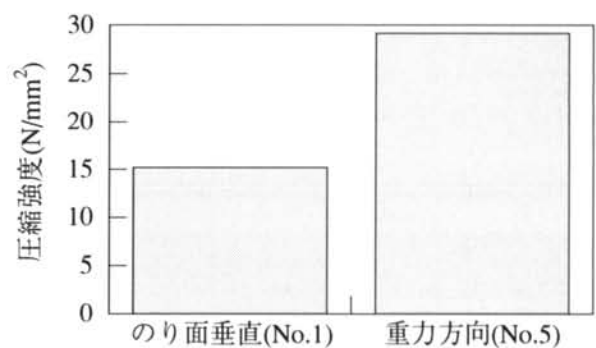


図-10 圧縮強度に及ぼす締固め方向の影響

たものの、その差は小さい。

## 2) 圧縮強度

直接締め固めた試験体No.1および3と合板を敷設して締め固めた試験体No.2および4の圧縮強度を図-8に示す。基盤の種類によらず、合板を敷設した場合は、直接締め固めた場合と比較して圧縮強度が小さくなったが、その差は小さい。圧縮強度が若干小さくなったのは、合板を敷設した場合は、直接締め固めた場合より全空隙率が大きくなったためと考えられる。また、いずれの締固め方法においても、河川護岸に必要な圧縮強度である10N/mm<sup>2</sup>以上を満足し

た。

## 3) 施工性の評価

合板を敷設せず直接締め固めた場合、エコロクリートの表面に目詰まりを生じやすく、不陸が生じやすかった。一方、合板を敷設した場合、目詰まりは生じず、不陸も生じにくかった。これは、合板を敷設することにより締固め面積が増加し、かつ合板が緩衝材となることにより、エコロクリートの表面にかかる振動エネルギーが分散されるためと考えられる。したがって、締固め方法が施工性に及ぼす影響は大きく、表面の空隙の目詰まりを抑制するには、合板を敷設した上

から締め固める方法が有効であることがわかった。

以上の結果より、空隙率および圧縮強度については、締め固め方法により顕著な差が認められなかったが、施工性、表面の目詰まりについては、合板を敷設した方が良好であったので、締め固め方法は、合板を敷設した上から行うこととした。

#### 4.2.3 締め固め方向の影響

##### 1) 空隙率

のり面垂直方向に締め固めた試験体No.1と重力方向に締め固めた試験体No.5の全空隙率を図-9に示す。重力方向で締め固めた場合、のり面垂直方向と比較して全空隙率が半分以下になった。垂直方向に締め固めた場合、施工上の制約から、締め固めの程度をコントロールすることが困難であるため、過度に締め固まり、全空隙率が小さくなったと考えられる。

##### 2) 圧縮強度

のり面垂直方向に締め固めた試験体No.1と重力方向に締め固めた試験体No.5の圧縮強度を図-10に示す。重力方向で締め固めた場合、のり面垂直方向と比較して圧縮強度が2倍以上となった。これは、重力方向に締め固めた場合、締め固め過ぎにより全空隙率が半分以下となったためと考えられる。

以上の結果より、締め固め方向が空隙率および圧縮強度に及ぼす影響は大きいことがわかった。重力方向に締め固める方法は、所定の空隙率を確保することが困難であることから締め固め方向は、のり面に対して垂直方向とすることにした。

#### 4.3 施工方法の検討のまとめ

表面の空隙の目詰まりを抑制するためには、合板を敷いた上から振動コンパクタで締め固める方法が効果的であることが明らかになった。また、打込み基盤が空隙率および圧縮強度に及ぼす影響が大きいので、打込み基盤を適度な硬さに仕上げることが重要であることが明らかになった。

### § 5. 製造時の品質管理方法の検討

エコロクリートはスランプしないので、通常、コンクリートのフレッシュ時の品質管理方法として行われているスランプ試験は適用できない。そこで、現場の施工管理への適応性を考慮し、定量的に評価でき、かつ原理が比較的単純で迅速に測定できることを目標とし、いくつかの方法について予備的に実験を行った。その結果、エコロクリートに紙タオルをあて、振動を加えてモルタルを付着させ、付着前後の紙タオルの質量差を測定する方法（以下モルタル付着試験）が有効

である可能性が示された。そこで、モルタル付着試験によるフレッシュ性状の評価方法を確立する目的で、単位水量の増減量、振動時間、試料量等を要因とし実験的検討を実施した。

#### 5.1 実験概要

モルタル付着試験は写真-3に示すような手順で実施した。容器はJIS A 1128に規定されている空気量を測定する容器を用い、紙タオルはクレシア社製のキムタオルを用い、振動機は型枠振動機(9000~10000rpm)を用いた。

実験の要因と水準を表-7に示す。試料量は、エアメータの容積の約30%、50%、100%程度になるように設定した。また、エコロクリートは、単位粗骨材量が非常に多いため、粗骨材の表面水の変動により、その性状に大きく影響を受けやすい。粗骨材の表面水の変動は、通常±1.0%程度であることを考慮し、単位水量の増減量を単位粗骨材量の0.5%および1.0%とした。

配合を表-8に示す。単位水量を増減する場合は、単位粗骨材量の1.0% (15.46kg/m<sup>3</sup>)および0.5% (7.73kg/m<sup>3</sup>)に相当する水量を増減させた。

#### 5.2 測定項目

##### 5.2.1 モルタル付着量

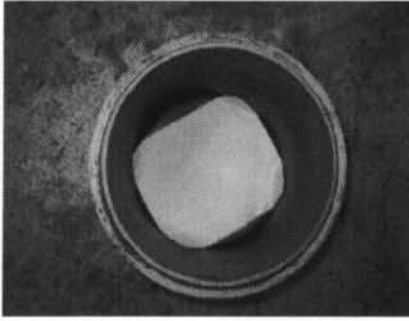
モルタル付着量は写真-3に示す方法により、上面および下面に設置した紙タオルのモルタル付着前後の質量差を0.1gまで測定した。1回の試験で測定を3回行い、その平均値をモルタル付着量とした。

要因	水準
振動時間	3秒, 5秒, 10秒
試料量	3kg, 5kg, 10kg
単位水量の増減量	単位粗骨材量に対し, -1.0%, -0.5%, ±0%(基準), +0.5%, +1.0%

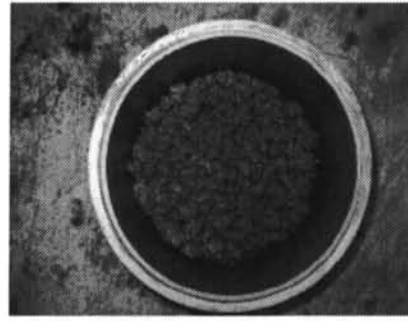
表-7 実験の要因と水準

全空隙率(%)	W/C (%)	m/g (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				AE減水剤(C×%)
			W	C	S	G	
21	30	36.4	85	284	94	1546	0.25

表-8 配合



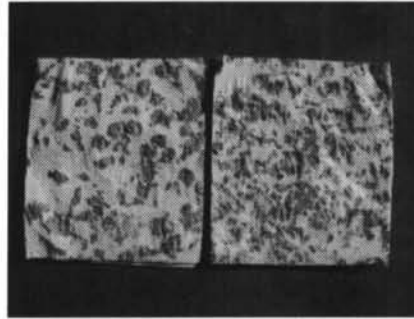
手順1：容器の底面に紙タオルを設置する。



手順2：試料を投入し、上面にも紙タオルを設置する。



手順3：振動機を用いて振動を加える。



手順4：付着前後の紙タオルの質量差を測定する。

写真一3 モルタル付着試験の手順

### 5.2.2 圧縮強度

供試体は、形状を $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱とし、各材齢につき3本ずつ作製した。材齢1日で脱型し、所定の材齢まで $20^\circ\text{C}$ の水中で養生した。圧縮強度試験は、JIS A 1108に準拠し材齢7日および28日で実施した。なお、両端面はキャッピングを行った。

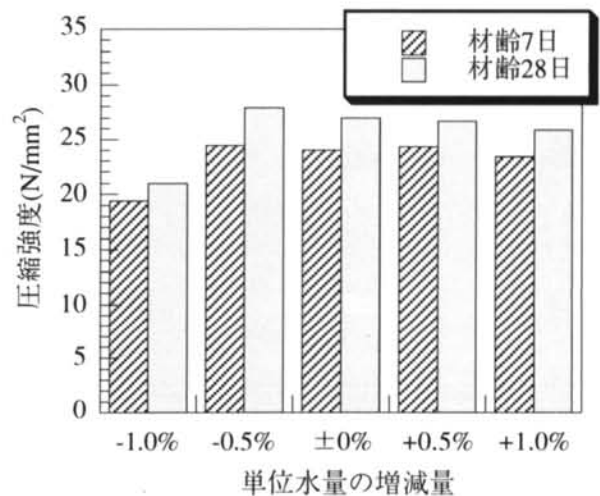
### 5.3 結果および考察

#### 5.3.1 単位水量の増減が圧縮強度に及ぼす影響

図一11に単位水量の増減量と材齢7日および28日における圧縮強度の関係を示す。

単位水量の増減量が単位粗骨材量に対し $-0.5\% \sim +1.0\%$ の範囲では、材齢7日、28日ともに圧縮強度はほぼ一定であるが、単位水量の増減量が $-1.0\%$ の場合では、圧縮強度が基準（増減量 $\pm 0\%$ ）と比較し、材齢7日、28日ともに20%程度低下した。一方、単位セメント量を一定としているので、水セメント比は単位水量が増加するのに伴い増加し、単位水量の増減量が $-1.0\%$ で24.5%、 $-0.5\%$ で27.2%、 $+0.5\%$ で32.7%、 $+1.0\%$ で35.4%になった。

以上の結果から、単位水量が単位粗骨材量の1.0%まで増加する場合でも、水セメント比に関わらず、圧縮強度は低下しないが、単位水量が単位粗骨材の1.0%程度減少した場合は、圧縮強度が20%程度低下することが明らかになった。圧縮強度が低下するのは、水セメント比の影響ではなく、単位水量が減少することにより、モルタルが著しく硬くなり、締め固める時に振動



図一11 単位水量の増減量と圧縮強度の関係

を加えてもモルタルが流動せず、粗骨材同士の接点におけるモルタル量が少なくなるためと考えられる。

#### 5.3.2 モルタル付着量

##### 1) 単位水量の増減の影響

図一12に単位水量の増減量とモルタル付着量の関係を示す。単位水量の増減量とモルタル付着量は相関性が高く、基準（増減量 $\pm 0\%$ ）と比較し、単位水量が増減するに伴いモルタル付着量も増減した。このことから、モルタル付着量により単位水量の増減によるフレッシュ性状の変動を定量的に評価できることが示された。また、単位水量の増減量が $+1.0\%$ の場合、振動を与えた際に粗骨材周囲のモルタルがだれて空隙が目



詰まりする傾向が目視観察により認められた。

上面と下面を比較すると、上面より下面の方がモルタル付着量が大きく、単位水量が増減した場合のモルタル付着量の変動量も大きくなった。上面より下面のモルタル付着量が多くなるのは、測定時に振動を加えると流動性が高くなりモルタルが下面の方に移動すること、下面の方がポーラスコンクリートの自重分だけ紙タオルにかかる圧力が大きくなることなどが考えられる。

単位水量の増減した場合のモルタル付着量の変動幅がより大きい方がフレッシュ性状の変動を評価しやすいと考えられるので、モルタル付着量は上面と下面の紙タオルの質量差の和として求めることとした。

## 2) 振動時間の影響

図-13に振動時間とモルタル付着量の関係を示す。振動時間が長くなるほど、上面、下面および上面+下面のいずれの場合においても、モルタル付着量はほぼ直線的に増加した。振動時間の増加に伴うモルタル付着量の増加は、上面ではわずかであり、下面において顕著であった。これは、振動時間が長くなるほど、粗骨材に付着したモルタルが流動し下部に集中するためと考えられる。

振動時間が長いほど試験時間が長くなるので、モルタル付着試験の振動時間は5秒間とすることとした。

## 3) 試料量の影響

図-14に試験に用いる試料量とモルタル付着量の関係を示す。試料量が増加するに伴い、モルタル付着量はほぼ直線的に増加したが、その差は最大で1.1gとそれほど大きくないので、試料量がモルタル付着量に及ぼす影響は小さいと考えられる。試料量がモルタル付着量に及ぼす影響が小さいことが明らかになったので、モルタル付着試験の試料量はエアメーターの容積の半分を目安とした5kgとすることとした。

### 5.3.3 モルタル付着量と圧縮強度の関係

図-15に単位水量が増減した場合のモルタル付着量と材齢28日の圧縮強度の関係を示す。

今回の検討範囲では、モルタル付着量が7g～10g程度では、圧縮強度はほぼ一定であり、7gより小さくなると圧縮強度が低下する傾向が認められた。ただし、使用材料あるいは配合等により、モルタル付着量と圧縮強度の関係は変化することが考えられるので、モルタル付着量の許容値は実際に使用する材料および配合により製造した試料を用いて設定する必要がある。

## 5.4 モルタル付着量の管理範囲の設定方法

現場の施工管理におけるモルタル付着量の管理範囲の設定方法を以下に示す。

### 5.4.1 下限値

モルタル付着量の下限値は、圧縮強度の許容下限値

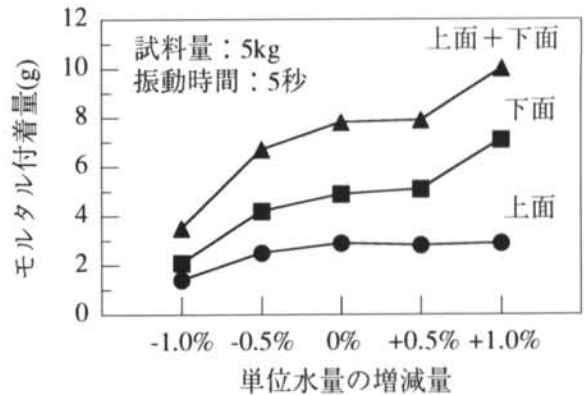


図-12 単位水量の増減量とモルタル付着量の関係

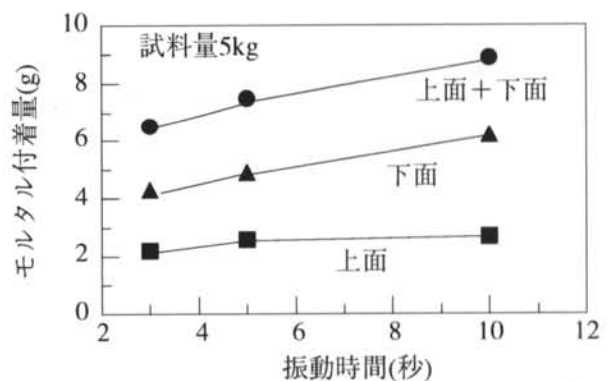


図-13 振動時間とモルタル付着量の関係

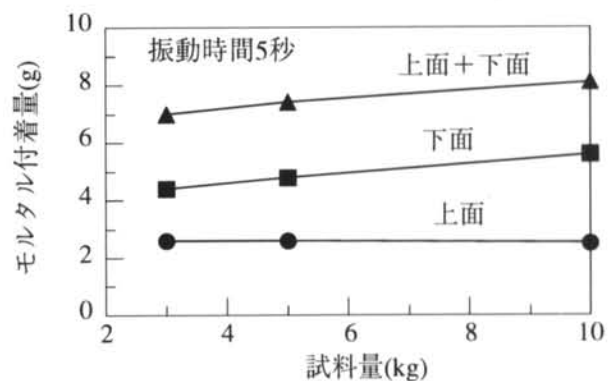


図-14 試料量とモルタル付着量の関係

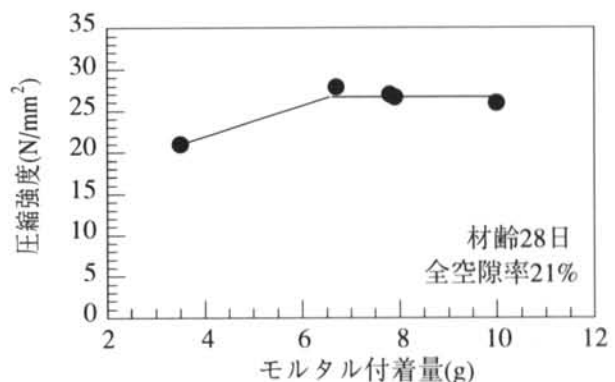


図-15 モルタル付着量と圧縮強度の関係

から設定する。例えば、今回の実験において、圧縮強度の許容低下値を基準（単位水量の増減±0kg/m<sup>3</sup>）の90%とすると、モルタル付着量の下限值は、図-15より5.5g程度に設定できる。

#### 5.4.2 上限値

モルタル付着量の上限値は、粗骨材周囲に付着したモルタルがだれて空隙が目詰まりしない程度に設定する。例えば、今回の実験では、単位水量が単位粗骨材量の1.0%増加した場合、モルタルがだれて空隙が目詰まりする傾向が認められた。したがって、モルタル付着量の上限値は、図-12より10.0g程度に設定できる。

以上より、今回の実験の範囲では、モルタル付着量の許容範囲は、5.5g～10.0gとなった。なお、モルタル付着量は、使用材料および配合により変動する可能性があるため、モルタル付着量の許容値は実際に使用する材料および配合により製造した試料を用いて設定する必要がある。

#### 5.5 品質管理方法の検討のまとめ

エコロクリートのフレッシュ時の品質管理方法として、現場の施工管理に適用できるモルタル付着試験を新たに考案し、その試験方法の詳細および管理範囲の設定方法を示した。

### § 6. 河川護岸への適用事例

#### 6.1 施工概要

施工概要を表-9に、施工箇所の標準断面図を図-16に示す。施工箇所は2割勾配の護岸のり面と平坦部の高水敷および低水路である。

#### 6.2 施工方法

施工場所	千葉県松戸市紙敷地先 一級河川国分川			
施工箇所	施工箇所	面積 (m <sup>2</sup> )	厚さ (cm)	打設量 (m <sup>3</sup> )
	護岸	189	20	37.8
	高水敷	107	20	21.4
	低水路	419	15	62.9
エコロクリートの仕様	圧縮強度：10N/mm <sup>2</sup> 以上 (材齢28日) 空隙率（連続・全）：21±3%			

表-9 施工概要

使用材料および配合は、表-4および5に示されているものと同じである。製造は、レディーミクストコンクリート工場で行った。現場までの運搬にはアジテータトラックを用いた。施工状況を写真-4～5に示す。打込みは、0.2m<sup>3</sup>のバケツを装着したバックホウを用いて所定の撒き出し厚さまで行い、レーキ等を用いて人力により均等に敷き均した。所定の撒き出し厚さまで均等に敷き均したことを確認した後、表面の空隙の目詰まりを防ぐために合板を敷いた上から振動コンパクタを用いて設計厚さになるまで締め固めた。締め固め終了後、養生シートで覆って養生し、乾燥しないように適時散水した。

#### 6.3 植生状況

##### 6.3.1 植生に対する考え方

本工事では、緑化に関する工事を一切実施しなかった。これは、洪水時に上流から流れてくる土砂がエコロクリートの空隙内に堆積し、その立地に相応しい在来植物が自然に繁茂することを期待したものである。

##### 6.3.2 施工後の植生状況

施工後の植生状況を写真-6、7に示す。施工後3ヶ月には水際部分に若干ではあるが植物が生育していることが確認された。その後、時間の経過に伴い植物の生育面積は増加し、施工後12ヶ月ではのり面部分の1/4程度になり、施工後18ヶ月ではのり面部分の1/3程度まで植物が生育している状況が観察されている。このことから、エコロクリートが良好な植生機能を有していること、増水した後も植物が流失しないことが確認された。一方、洪水時の水位より上部にある箇所では、植物の生育がほとんど観察されていないことから、全面的な緑化を期待する場合は、上流からの流出土砂が堆積しない箇所には、緑化工を行う必要があると思われる。

#### 6.4 河川護岸への適用事例のまとめ

§ 4. で検討した施工方法により、表面に目詰まり

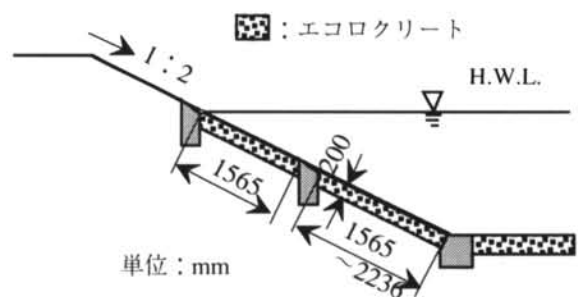


図-16 標準断面図

を生じさせることなくエコロクリートを施工できた。また、施工後の植生状況を調査した結果、エコロクリートが良好な植生機能を有していること、植生は増水した後も流出しないことが確認された。

## § 7. おわりに

本開発で得られた知見を以下に示す。

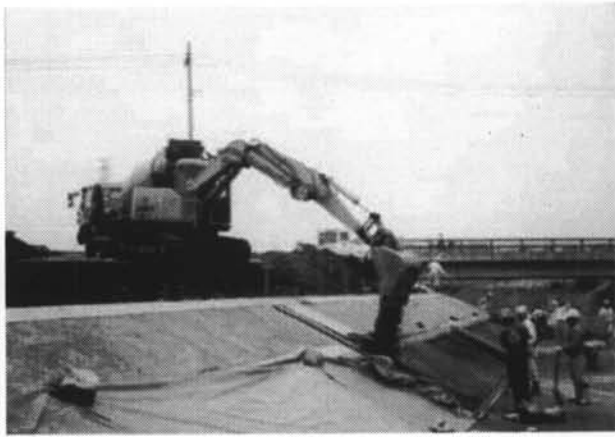
(1) エコロクリートの基礎物性である圧縮強度特性を検討した結果、水セメント比、粗骨材粒径の影響は小さく、空隙率が圧縮強度特性の支配的な要因であることが明らかになった。したがって、空隙率と圧縮強度の関係から、要求性能に応じた配合設計を行うことが

できる。また、締め固め時に振動を与えない場合、圧縮強度が低下するので、振動を与えることが重要である。

(2) 表面の空隙の目詰まりを抑制するためには、合板を敷いた上から振動コンパクターで締め固める方法が効果的である。また、打込み基盤が空隙率および圧縮強度に及ぼす影響が大きいため、打込み基盤を適度な硬さに仕上げるのが重要である。

(4) エコロクリートのフレッシュ時の品質管理方法として、現場の施工管理に適用できるモルタル付着試験を新たに考案し、その試験方法の詳細および管理範囲の設定方法を示した。

(5) 河川護岸への適用事例により、エコロクリートが良好な植生機能を有していること、植生は増水した後も流出しないことが確認された。



写真一 4 撒き出し状況



写真一 5 締め固め状況



写真一 6 施工後 12ヶ月の状況



写真一 7 施工後 18ヶ月の状況

<参考文献>

- 1)岸田秀樹：“コンクリート構造物の景観向上技術の開発－その3・緑化に関する検討”，セメント・コンクリート，No.610，pp.11-16，1997.12
- 2)今井実：“植生コンクリート－のり面－”，コンクリート工学，Vol.36，No.1，pp.24-26，1998.1
- 3)玉井元治：“地球環境とコンクリート－ポーラスコンクリート，エココンクリートのはたす役割－”，セメント・コンクリート，No.619，pp.1-9，1998.9
- 4)伊藤昌昭：透水コンクリートの概要および“エコマテリアル”としての用途”，セメント・コンクリート，No.576，pp.11-16，1995.2
- 5)田中博一，上野久，中野慎一，栗田守朗：“場所打ち緑化コンクリートの河川護岸への適用”，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.22，No.2，pp.1231-1236，2000
- 6)柳橋邦生，米澤敏男，安藤慎一郎，杉本敦：“緑化コンクリートの河川護岸への適用”，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18，No.1，pp.1017-1022，1996
- 7)武川芳広，渡部俊雄，小野定，今井実：“場所打ち透水性コンクリートの開発”，土木学会第50回年次学術講演会講演概要集，第6部，pp.596-597，1995.9
- 8)橋大介，今井実，武川芳広，高木史人：“透水性コンクリートの耐凍害性”，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集，第5部，pp.386-387，1996.9
- 9)田中博一，今井実：“緑化コンクリートの強度特性”，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.1，pp.283-288，1999
- 10)田中博一，上野久，中野慎一，萩原運弘，栗田守朗：“河川護岸における場所打ちポーラスコンクリートの施工”，土木学会第55回年次学術講演会講演概要集，V-243，2000.9
- 11)(財)先端建設技術センター：“建設新技術研修会テキスト－ポーラスコンクリート河川護岸技術－”，1999.9
- 12)吉森和人，藤原浩巳，伊藤修一，岡本享久，下山善秀：“ポーラスコンクリートの強度と耐久性に関する研究”，第49回セメント技術大会講演集，pp.768-773，1995
- 13)添田政治，大和竹史，江本幸雄：“ポーラスコンクリートへの再生骨材の適用性に関する実験的研究”，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.2，pp.1117-1122，1998