

## 透水性コンクリートの実用化に関する研究（その2）

Study on Development of Practical Use of Permeable Concrete (Part 2)

研究第三部 研究員 中野慎一  
リバーフロント研究所長 小池達男  
清水建設株式会社 栗田守郎

エコロクリートは、多孔質で透水性が高く植物の根がコンクリートの空隙に入り込んで保持・育成されることで植生の基盤となり得るポーラスコンクリートである。このエコロクリートは、河川や湖沼の緑化護岸や道路の法面緑化等、生態系の保全・創出あるいは美しい自然景観の創出等に寄与する素材として期待されている。

エコロクリートの大きな特長は、①通常のコンクリート用の骨材や混和剤を用いて、レディーミキストコンクリート工場で練り混ぜができ、トラックアジテータ車やダンプトラックで運搬が可能であることと、②連続空隙 20~25%、圧縮強度 10~18 (N/mm<sup>2</sup>) を確保できることにある。

本研究では、千葉県松戸市を流れる一級河川国分川でエコロクリートの施工を行うにあたり、課題の抽出を行った。そして実施工モデル試験体による確認試験によって以下の知見を得た。

- ① 打込み基盤によって、空隙率及び圧縮強度に差が認められた。これは締固め時に基盤と接触する粗骨材が基盤に食い込んだためと考えられる。
- ② 合板を敷設した上から小型の振動コンパクタで締固める方法で、施工性に優れ所定の品質を確保できる。
- ③ 同一空隙率においては、コアの圧縮強度は標準養生の供試体の 80%程度であった。
- ④ 練上がりからの経過時間が圧縮強度に及ぼす影響は大きく、練上がりからの経過時間が 120 分では圧縮強度が 30%程度低下した。

なお、この技術が評価され、エコロクリートは平成 12 年 5 月に土木学会環境賞を受賞した。

**キーワード：**多自然型川づくり、護岸、透水性コンクリート、エコロクリート、多孔質、空隙、現場打ちコンクリート、植生基盤、

Ecolocrete is multiporous and is highly permeable. Therefore, it is a porousconcrete that is inherent of becoming a vegetational base to sustain andgrow vegetation with the roots growing into the concrete cavity.

Ecolocrete is expected to become a material that supports greening of the river and lake revetment, greening of the roadside, protection and creation of the ecosystem, and creation of a beautiful natural landscape.

The major characteristics of the ecolocrete are:

1. Regular concrete aggregates and admixtures can be used for churning and mixing at a ready-mix concrete plant, and transportation by a agitation truck or dump truck.
2. Specifications include a continuous hollow cavity of 20-25% and compression strength of 10-18 (N/mm<sup>2</sup>).

This study extracted issues upon executing ecolocrete works in the Kokubu River, that is a Class 1 river flowing through Matsudo City, Chiba. Wedis covered the following points by confirming and testing samples of model sreflected the works.

1. There was a difference in percentage of void and compression strength depending on the foundation in which the concrete was placed. This is assumed to be a result of the coarse aggregate, coming into contact with the foundation, and then biting into the foundation upon compaction.
2. It is possible to secure a certain quality with superior workability by compaction with a portable vibratory compactor from above a plywood sheet.
3. At the same percentage of void, the core compression strength was about 80% of the sample of standard curing.
4. The passage of time from when the concrete is mixed greatly affected the compression strength. When 120 minutes passed after mixing, the compression strength dropped to about 30%.

This technology was appraised and lead to ecolocrete winning the Civil Engineering Association Environment Award in May 2000.

**Keywords :** Nature-Oriented River Works, Revetment, Permeable Concrete, Ecolocrete, Multiporous, Cavity, Cast-in Concrete, Vegetational Base.

## 1. はじめに

近年、環境問題に対する社会的な意識の向上とともに、土木・建築の両分野においても、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。河川護岸の整備においても、河川法が改正され、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、環境に配慮した河川護岸工法としてポーラスコンクリートを用いた河川護岸の事例が増加している。<sup>1)</sup>

このような状況の中、平成6年からエコロクリートに関する研究・開発を行ってきた。そして、平成11年5月に千葉県松戸市を流れる一級河川国分川においてエコロクリートによる護岸工の施工を行った。

本報告は、これまでに得られた研究成果をふまえ、国分川で得られた知見について報告を行うものである。

## 2. エコロクリートの特徴

エコロクリートは、①に示す物性を有している。また、②～③に示すように特殊な材料や施工法を用いないため、工場のプラント等を変更することなく、比較的容易に製造し、施工できるという大きな特徴をもっている。

### ① 空隙率と圧縮強度

- ・連続空隙 20～25%程度

- ・圧縮強度 10～18N/mm<sup>2</sup>

### ② 使用材料と練り混ぜ、運搬

- ・通常のコンクリート用の骨材や混和剤を使用

- ・生コン工場での練り混ぜが可能

- ・生コン車やダンプトラックで運搬が可能

### ③ 打設と締固め

- ・バックホウやバケット等により打設が可能

- ・小型の振動コンパクタや型枠バイブレータで締固めが可能

### ④ 安定性、表面形状

- ・現場打ちなので一体性が強い

- ・現場にて凹凸等の表面形状の加工が可能

## 3. エコロクリートの植生について

エコロクリートが植生の基盤として機能するには、コンクリート空隙内で植物根が保持、育成されることが重要となる。この空隙に種子や保水材を充填することで積極的な緑化が可能である。(図3-1) このことについては、室内実験により確認している。詳細はリバーフロント研究所報告第9号を参照されたい。

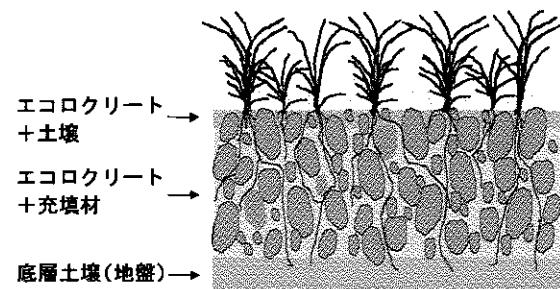


図3-1 植生の概念図

Fig.3-1 Conceptual Diagram of Vegetation

## 4. 松戸市国分川での施工

千葉県松戸市国分川の河川改修を実施するにあたり、護岸及び河床にエコロクリートによる施工を行った。ポーラスコンクリートを現場打ちで施工した例が少ないため、施工方法等を検討する目的で実施工モデル試験体による確認試験を実施した。

### 4-1 施工概要

施工概要を表4-1に、標準断面図を図4-1に示す。施工箇所は2割勾配の護岸法面と、平坦な高水敷及び低水路である。

表4-1 施工概要

Table 4-1 Works Overview

施工場所	千葉県松戸市和名ヶ谷地先 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 : 10 N/mm <sup>2</sup> 以上(材齢 28 日) 空隙率 (連続・全) : 21 ± 3 %			

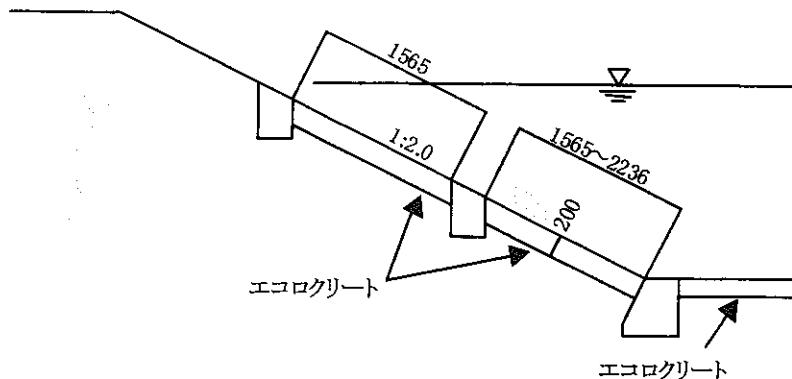


図 4-1 標準断面図  
Fig.4-1 Standard Sectional Diagram

#### 4-2 配合

配合を表 4-2 に示す。ポーラスコンクリートは細骨材を使用しないのが一般的であるが、エコロクリートでは細骨材を使用している。これは、締固め時に振動を与えた場合、

だれで分離するのを抑制するためである。

また、細骨材を含む使用材料はすべて現地のレディーミクスト工場で通常使用されているものであり、この点がエコロクリートの最大の特徴である。

表 4-2 配合

Table 4-2 Mixture

粗骨材の 最大寸法 (mm)	水セメント比 W/C (%)	全空隙率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				AE 減水剤 (g / m <sup>3</sup> )
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
20	30	21	85	283	142	1,523	70.7

#### 4-3 実施工モデル試験体による確認試験

試験体の種類を表 4-3 に示す。試験要因は、基盤の種類、締固め方法とした。また締固めの方向を法面垂直方向と、重力方向の 2 種類とした。

また、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必要があった。そこで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、合板を敷設した上から行う方法と、合板を敷設せず直接締固める方法の 2 種類とした。いずれも小型の振動コンパクタを用

いて設計厚さになるまで締固めを行った。

表 4-3 試験体の種類

Table 4-3 Types of Specimen

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	法面垂直
2	碎石	合板使用	法面垂直
3	原地盤	合板不使用	法面垂直
4	原地盤	合板使用	法面垂直
5	碎石	合板不使用	重力方向

それぞれの試験体について空隙率、圧縮強度を測定するために、材齢 26 日において各試験体から  $\phi 10\text{cm}$  のコアを 4 本ずつ採取した。結果を図 4-2～図 4-5 に示す。

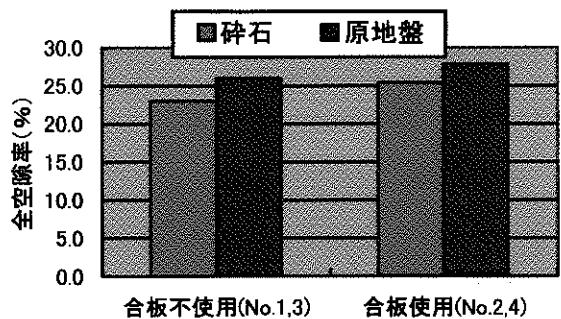


図 4-2 空隙率に及ぼす基盤の種類の影響

Fig.4-2 Types and Effects of Foundations on Percentage of Voids

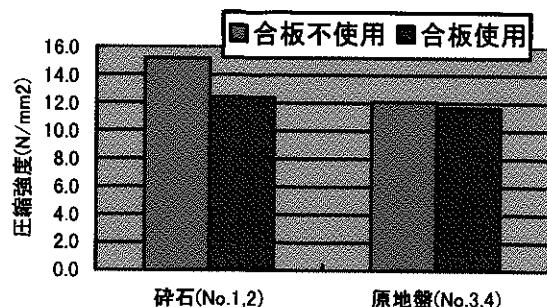


図 4-5 圧縮強度に及ぼす締固め方法の影響

Fig.4-5 Compaction Effects on Compaction Strength

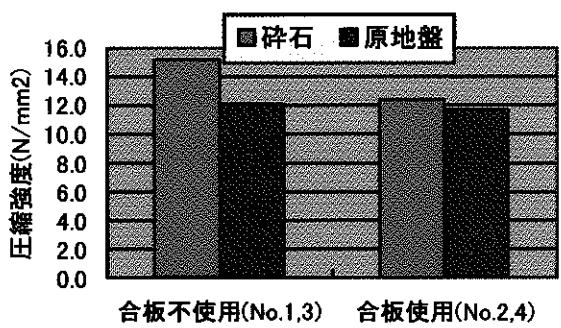


図 4-3 圧縮強度に及ぼす基盤の種類の影響

Fig.4-3 Types and Effects of Foundations on Compaction Strength

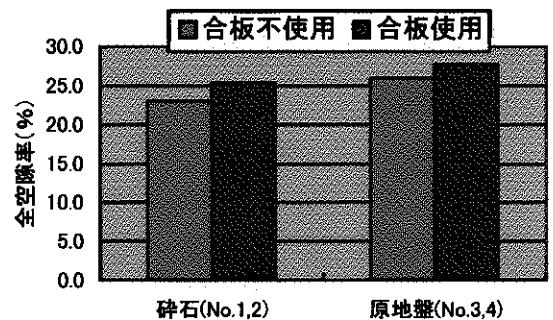


図 4-4 空隙率に及ぼす締固め方法の影響

Fig.4-4 Compaction Effects on Percentage of Voids

### ① 基盤の種類の影響

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 % 程度大きくなつた。これは原地盤の場合、締固め時に基盤と接触する粗骨材が基盤に食い込み、設計厚さよりも平均で 2 cm 程度大きくなつたためと考えられる。

一方圧縮強度については、原地盤は碎石と比較して小さくなつた。これは、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つたためである。

いずれの基盤においても、圧縮強度の下限値である  $10\text{N}/\text{mm}^2$  を満足している。また植物の根がエコロクリートを貫通して基盤に到達した場合、碎石より原地盤の方が有利であることを考慮し、実施工では基盤を原地盤とした。

### ② 締固め方法の影響

基盤の種類によらず、合板を敷設した場合は、直接締固めた場合より全空隙率が 2 % 程度大きくなつた。

また圧縮強度については、基盤の種類によらず合板を敷設した場合は、直接締固めた場合と比較して若干小さくなつたが、下限値である  $10\text{N}/\text{mm}^2$  を満足した。これは、合板を敷設した場合、直接締固めた場合より全空隙率が大きくなつたためである。

合板を敷設せずに直接締固めた場合、目詰

まりが生じやすくエコロクリート内部に植物の根が侵入することが困難となる。このため実施工では、合板を敷設した上から締固めることとした。

### ③ 空隙率と圧縮強度の関係

コア及び標準養生の供試体の全空隙率と圧縮強度の関係を図4-6に示す。図中の回帰直線は、コアの結果のみから得られたもので

ある。空隙率と圧縮強度の関係は相関性が高く、直線で近似できることがわかった。また、同一空隙率においては、コアの圧縮強度は標準養生の供試体の圧縮強度の80%程度であることが明らかとなった。標準養生の供試体は、コアと同じバッチの試料から3本作成し、圧縮強度及び全空隙率ともに平均値を用いている。

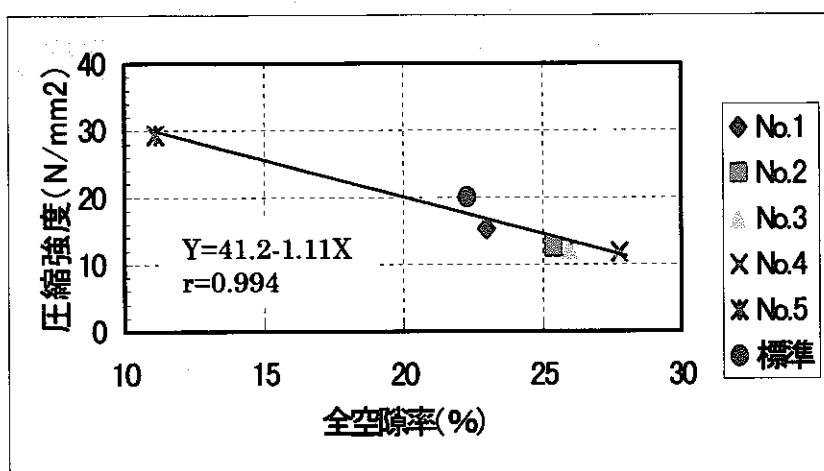


図4-6 空隙率と圧縮強度の関係

Fig.4-6 Correlation Between Percentage of Voids and Compaction Strength

### ④ 練上がりからの経過時間が圧縮強度に及ぼす影響

練上がりからの経過時間が圧縮強度に及ぼす影響を把握するため、練上がり直後、60分、90分、120分後に採取した試料の圧縮強度を測定した。練上がり直後と比較すると、経過時間60分までは圧縮強度の低下は見られなかったが、それ以降は経過時間120分まで直線的に圧縮強度が低下し、経過時間120分では圧縮強度が30%低下した。

これは、練上がりからの経過時間が長くなるにつれて、粗骨材の周囲に付着したモルタルが乾燥し、締固め時に振動を与えた際のモルタルの流動性が低下することにより、粗骨材同志の接点に付着するモルタル量が少なくなるためと考えられる。

以上の結果より、エコロクリートでは、練

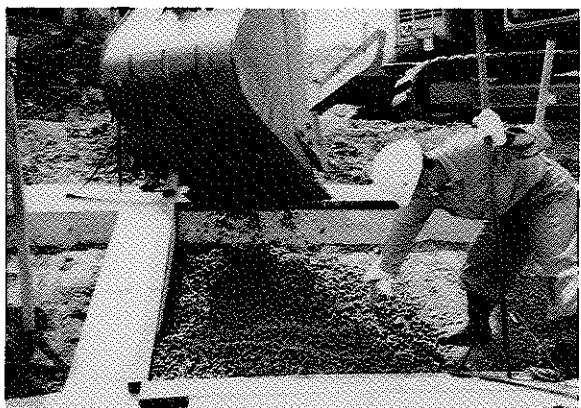
上がりから90分以内に施工することが望ましいと考えられる。

### 4-4 施工手順

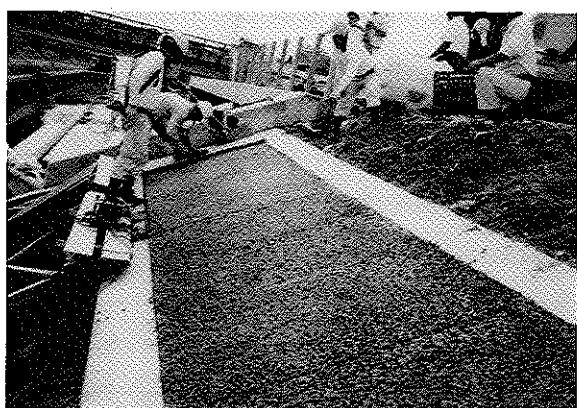
① 基礎工、天端工を施工する。必要に応じて帶工を施工する。



② バックホウ等でエコロクリートを打設する。



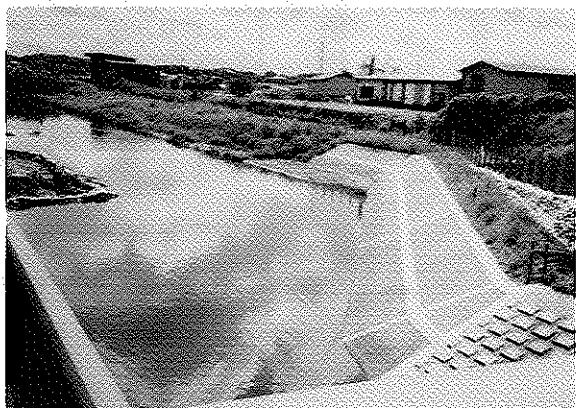
⑤ 所定の厚さまで締固めたら仕上がり。この後養生を行う。



③ 所定の厚さに敷均す（ここでは乾燥を防ぐ目的で散水）。



⑥ 施工直後の状況



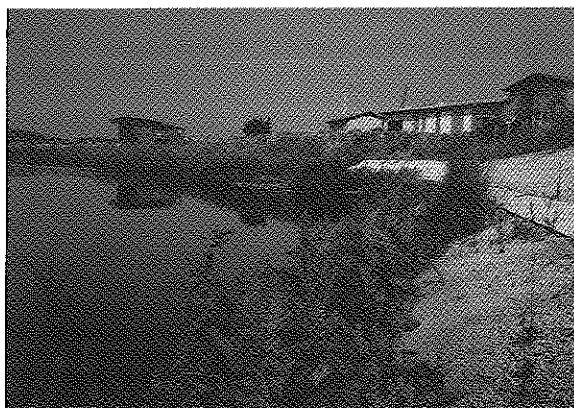
④ 合板を敷設した上から締固める。



⑦ 施工後 1 年経過（平成 12 年 5 月）。



## ⑧ 植生状況（平成 12 年 5 月）



国分川の施工にあたっては、エコロクリートの空隙に保水材や種子等を充填せずに自然の堆積作用に委ねることとした。その結果、流水によって土砂や種子が空隙に入り込み、水際での植生がみられる。

これによりエコロクリートは、植生基盤として充分に機能することがわかった。

## 5. 今後の検討課題

国分川でのエコロクリート技術が評価され、平成 11 年度土木学会環境賞を受賞した。しかし残された検討課題も多い。

具体的には、植生方法に関する課題がある。

「3. エコロクリートの植生について」で述べたように、保水材や種子等を混合したものをおエコロクリートの空隙に充填することにより積極的な緑化が可能であるが、実際の現地での適用に関してはさらなる検討が必要である。今後は、植物根のエコロクリート内への侵入条件及び地盤への活着条件の究明。地域の自然植生との調和、植生の継続、多様化さらにはコストの低廉化等を含め、総合的に検討していく必要があると考える。

また、エコロクリートにシリカヒュームを混合することで、優れた耐凍害性を期待できる<sup>2)</sup>が、特殊な材料を用いて耐凍害性を確保できるような技術開発も必要と考える。

## 6. おわりに

本研究は、平成 6 年度から(財)リバーフロント整備センターと清水建設株式会社との共同により行ってきたものである。しかし現場打ちのポーラスコンクリートによる護岸工の実績はまだ少なく、今後実績を積み重ねさらに研究を重ねていく必要があると考える。

最後に松戸市役所を始め、本研究にご協力下さった関係各位に深く御礼申し上げます。

### <参考文献>

- 1) 田中博一・上野久・中野慎一・栗田守郎：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
- 2) (財)リバーフロント整備センター：リバーフロント研究所報告第 9 号 (1998)
- 3) 田中博一・上野久・中野慎一・萩原運弘・栗田守郎：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第 5 部 (投稿中)